

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta stavební

Katedra konstrukcí

Ocelová výrobní hala s krytým skladištěm, jeřábovou dráhou
a přístavbou

Steel Manufacturing Hall with Shelter, Crane Runway
and Outbuilding

Student:

Bc. Pavel Ochman

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Miroslav Rosmanit, Ph.D.

Ostrava 2019

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Pavel Ochman**

Studijní program: N3607 Stavební inženýrství

Studijní obor: 3607T037 Konstrukce staveb

Téma: **Ocelová výrobní hala s krytým skladištěm, jeřábovu drahou a přístavbou**
Steel Manufacturing Hall with Shelter Crane Runway and Outbuilding

Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

V rámci diplomové práce vypracujte:

1. Teoretický rozbor konstrukcí ocelových výrobních hal, jeřábových drah a specifik jejich návrhu.
2. Dispoziční řešení výrobní haly s mostovým jeřábem.
3. Předběžné posouzení základních nosných prvků navržené konstrukce haly, jeřábové dráhy, krytého skladiště a přístavby.
4. Statický výpočet rozhodujících nosných prvků navrhovaných konstrukcí.
5. Návrh a posouzení vybraných spojů.
6. Dispoziční a architektonické řešení zvolené varianty (část dokumentace pro stavební povolení), výkresová dokumentace.
7. Výrobní dokumentace vybrané části konstrukce (jeden výkres).

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] ČSN EN 1990: Zásady navrhování konstrukcí.
- [2] ČSN EN 1991: Zatížení konstrukcí.
- [3] ČSN EN 1992-1-1: Navrhování betonových konstrukcí. Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby.
- [4] ČSN EN 1993-1-1: Navrhování ocelových konstrukcí. Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby.
- [5] ČSN EN 1993-6: Navrhování ocelových konstrukcí. Část 6: Jeřábové dráhy
- [6] Studnička, J., Macháček, J. Votlučka, L.: Ocelové konstrukce 20 – Pozemní stavby, Praha 1998
- [7] Wald, F., Sokol, S.: Navrhování styčníků, Praha, 1998.
- [8] Odborné časopisy – Konstrukce, Stavitel, Structural Engineering, Stahlbau
- [9] Internet

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Miroslav Rosmanit, Ph.D.**

Datum zadání: 28.02.2019

Datum odevzdání: 29.11.2019



doc. Ing. Antonín Lokaj, Ph.D.
vedoucí katedry



prof. Ing. Radim Čajka, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci, včetně příloh, vypracoval sám pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem veškeré podklady a literaturu.

V Ostravě 29. 11. 2019

.....

Bc. Pavel Ochman

Prohlašuji, že

- byl jsem seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на ве́домі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на ве́домі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě 29. 11. 2019

.....

Bc. Pavel Ochman

Abstrakt

Diplomová práce se zabývá návrhem a posouzením ocelové haly s krytým skladištěm. Práce je rozdělena na část teoretickou a praktickou. V teoretické části je práce věnována ocelovým halám a jeřábovým drahám, v části praktické pak statickým výpočtům. Byly navrženy tři varianty, ze kterých byla jedna vybrána a následně posouzena. Práce obsahuje předběžný statický výpočet na 2D výpočetním modelu, který byl následně rozšířen na 3D výpočetní model kvůli přesnějším výsledkům a posouzení hlavních nosných prvků haly. Hala je rámová a řešená jako dvě jednolodní haly, které sdílejí střední sloup. Obsahuje jednu jeřábovou dráhu, která se nachází v hlavní lodi a pokračuje až na kryté skladiště. Rovněž byly navrženy hlavní nosné prvky jeřábové dráhy. Závěr práce se věnuje návrhu a posouzení vybraných spojů. Příloha diplomové práce obsahuje výkresovou část dispozičního řešení zvolené varianty spolu s vybranými detaily a výrobní výkres vybrané části konstrukce.

Klíčová slova: ocelová hala, vazník, příčná vazba, sloup, patka, jeřábová dráha, výrobní výkres, kryté skladiště, přístavba

Abstract

The thesis deals with the design and assessment of a steel hall with a covered warehouse. The thesis is divided into a theoretical and a practical part. The theoretical part is devoted to steel halls and crane tracks, the practical part deals with static calculations. Three variants were proposed, one of which was selected and subsequently assessed. The thesis contains a preliminary static calculation on a 2D calculation model, which was subsequently extended to a 3D calculation model for more accurate results and assessment of the main supporting elements of the hall. The hall is framed and designed as two single-nave halls that share a central column. It contains one crane track, which is located in the nave and continues to the covered warehouse. The main supporting elements of the crane runway were also designed. The conclusion of the thesis is devoted to the design and assessment of selected joints. The annex of the diploma thesis contains the drawing part of the layout of the chosen variant together with the selected details and the production drawing of the selected part of the structure.

Keywords: steel hall, truss, tranverse link, column, flap, crane track, production drawing, shelter, outbuilding

Obsah

Seznam použitého značení	9
---------------------------------------	----------

1 Teoretický rozbor konstrukcí ocelových výrobních hal, jeřábových drah a specifika jejich návrhu.	13
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------

1.1 Haly	13
1.2 Dispoziční řešení hal	14
1.3 Zatížení hal	16
1.4 Prostorová tuhost konstrukce haly	16
1.5 Jeřábové dráhy	17

2 Dispoziční řešení výrobní haly	21
-----------------------------------------------	-----------

3 Statický výpočet	27
---------------------------------	-----------

3.1 Stálé zatížení	27
3.2 Zatížení sněhem	28
3.3 Zatížení větrem	30
3.3.1 Zatížení větrem na stěny s pravoúhlým půdorysem	32
3.3.2 Zatížení větrem na stavby s pultovou střechou	34
3.3.3 Zatížení větrem na pultové přístřešky	39
3.4 Střešní plášť	45
3.5 Obvodový plášť	46
3.6 Tenkostěnná vaznice	47
3.7 Hlavní nosník jeřábové dráhy	48
3.7.1 Zatížení jeřábové dráhy	48
3.7.2 Výpočet vnitřních sil	59
3.7.3 Návrh hlavního jeřábového nosníku	66
3.7.4 Posouzení hlavního jeřábového nosníku	67
3.8 Konzola	80
3.8.1 Mezní stav únosnosti (MSÚ)	80

3.8.2	Mezní stav použitelnosti (MSP).....	82
3.9	Předběžné posouzení hlavních nosných prvků.....	83
3.9.1	Imperfekce.....	83
3.9.2	Zatěžovací stavy příčného rámu.....	84
3.9.3	Posouzení	86
3.10	Porovnání výpočetního modelu 2D a 3D	89
3.11	Posouzení vybraných hlavních nosných prvků	93
3.11.1	Posouzení rámové příčle	93
3.11.2	Posouzení sloupu.....	104
4	Návrh a posouzení vybraných spojů.....	110
4.1	Patka	110
4.2	Rámový roh	121
5	Závěr	132
	Seznam obrázků	134
	Seznam tabulek.....	136
	Seznam použitých zdrojů a literatury	138
	Seznam příloh	140

Seznam použitého značení

A	plocha	$[m^2]$
A_f	plocha pásnice	$[m^2]$
A_{fc}	plocha pásnice	$[mm^2]$
A_w	plocha stojiny	$[mm^2]$
A_{we}	plocha sváru	$[mm^2]$
B	rozteč sloupů	$[mm]$
B_i	bimoment	$[kN/m^2]$
C_e	součinitel expozice	$[-]$
C_{pe}	součinitel vnějšího tlaku	$[-]$
C_{pi}	součinitel vnitřního tlaku	$[-]$
D	délka	$[m]$
E	modul pružnosti v tahu a tlaku	$[MPa]$
F_{cr}	kritická síla	$[kN]$
H	světla výška haly	$[m]$
H_L	podélné síly způsobené přičením	$[kN]$
H_S	vodorovné síly způsobené přičením jeřábu	$[kN]$
$H_{T,1}; H_{T,2}$	příčné síly způsobené zrychlením a zpomalením jeřábu	$[kN]$
$H_{T,3}$	příčné síly způsobené zrychlením kočky	$[kN]$
H_ϕ	ekvivalentní vodorovná síla	$[kN]$
I	moment setrvačnosti	$[mm^4]$
$I_v(z)$	intenzita turbulence	$[-]$
K	korelace, hnací síla	$[-]$
L	rozpětí, rozchod	$[mm]$
L_{eff}	účinná délka	$[mm]$
L_{cr}	vzpěrná délka	$[m]$
M	moment vyvolaný hnací silou	$[kNm]$
M_{Ed}	návrhová hodnota ohybového momentu	$[kNm]$
M_{Rd}	návrhová únosnost v ohybu	$[kNm]$
M_{Rk}	charakteristická hodnota únosnosti v ohybu	$[kNm]$
$M_{b,Rd}$	návrhová únosnost v ohybu při klopení	$[kNm]$
N_{Ed}	návrhová hodnota tlakové síly	$[kN]$
Q_c	vlastní tíha jeřábu	$[kN]$

Q_h	zatížení kladkostroje	[kN]
R	reakce	[kN]
S	síla na vedení	[kN]
V	vnitřní síly od svislého zatížení	[kN]
V_b	nosnost jeřábu	[t]
V_{Ed}	návrhová hodnota smykové síly	[kN]
$V_{Pl,Rd}$	návrhová únosnost ve smyku	[kN]
a	rozvor kol, vzdálenost vodících kladek, délka patního plechu	[m]
a_w	výška sváru	[mm]
a_l	započitatelná šířka betonové patky	[mm]
b	šířka hlavy kolejnice, šířka nosníku, šířka patního plechu	[mm]
b_{eff}	efektivní šířka	[mm]
b_l	započitatelná délka betonové patky	[mm]
c	přesah desky	[mm]
c_{dir}	součinitel směru	[-]
$c_r(z)$	součinitel drsnosti terénu	[-]
c_{season}	součinitel ročního období	[-]
$c_0(z)$	součinitel ortografie	[-]
d	šířka	[m]
e	excentricita, výstřednost zatížení od kola	[m]
f	zatížení	[kN/m ²]
f_{ck}	charakteristická válcová pevnost v betonu	[MPa]
f_{od}	návrhová pevnost betonu v otláčení	[MPa]
f_{td}	návrhová pevnost betonu v tlaku a soudržnosti	[MPa]
f_y	mez kluzu	[MPa]
f_u	mez pevnosti	[kN/m ²]
g	tíha, zatížení	[MPa]
h	výška, vzdálenost	[m]
h_{min}	Minimální hloubka zabetonování	[mm]
i	poloměr setrvačnosti	[-]
$k_{i,j}$	součinitel interakce	[-]
k_l	součinitel turbulence	[-]
k_r	součinitel terénu	[-]
k_{wt}	parametr kroucení	[-]

l	délka sváru	[m]
l_{eff}	účinná roznášecí délka	[m]
l_m	rozpětí jeřábu	[m]
m_j	hmotnost jeřábu bez kočky	[t]
m_k	hmotnost kočky	[t]
m_w	počet pohonů na jedno kolo	[ks]
n	počet dvojic kol	[ks]
n_r	počet nosníku jeřábové dráhy	[ks]
q	tření	[kN/m ²]
$q_p(z)$	max. dynamický tlak	[kN/m ²]
q_w	zatížení	[kN/m ²]
r_l	vzdálenost kotevních šroubů od osy sloupu	[mm]
s_k	sněhová oblast	[kN/m ²]
t_f	tloušťka pásnice	[mm]
t_p	tloušťka patního plechu	[mm]
t_w	tloušťka stojiny	[mm]
v_b	základní rychlost větru	[m/s]
$v_{b,0}$	výchozí, základní rychlost větru	[m/s]
v_h	rychlost zdvihu břemene	[m/s]
w_k^i	tlak větru	[kN/m ²]
x	vůle mezi vodícími prostředky	[mm]
z_0	parametr drsnosti terénu	[m]
z_e	referenční výška pro výpočet tlaku větru	[m]
z_{min}	minimální výška pro kategorii terénu	[m]
γ	objemová tíha	[kN/m ³]
χ	součinitel klopení, vzpěrnosti	[-]
χ_F	součinitel lokálního boulení	[-]
Δh	účinná hloubka kotvení	[mm]
α	sklon střechy, úhel přičení	[°]
α_{LT}	součinitel imperfekce při klopení	[-]
β	součinitel vzpěrné délky	[-]
β_j	součinitel vlivu podlití	[-]
γ	objemová tíha	[kN/m ³]
γ_M	dílčí součinitel spolehlivosti	[-]

δ	průhyb	[mm]
λ	kritická štíhlost	[-]
λ_s	součinitel síly	[-]
λ_I	srovnávací štíhlost	[-]
$\bar{\lambda}$	poměrná štíhlost	[-]
μ	součinitel tření	[-]
μ_{cr}	bezrozměrný kritický moment	[-]
ρ	měrná hmotnost vzduchu	[kN/m ³]
σ	normálové napětí	[MPa]
τ	smykové napětí	[MPa]
φ	dynamický součinitel	[-]
ϕ	součinitel plnosti	[-]

1 Teoretický rozbor konstrukcí ocelových výrobních hal, jeřábových drah a specifika jejich návrhu.

Použité zdroje a literatura [11, 12]

1.1 Haly

Haly jsou jednopodlažní budovy, využívané hlavně v průmyslu a zemědělství. Jejich konstrukční řešení se odvíjí od požadavků na provoz. Návrh hlavní nosné konstrukce vychází přibližně z jejího rozpětí:

$L < 12 \text{ m}$	zděné stěny, dřevěná střecha
$L = 12 \text{ až } 18 \text{ m}$	dřevo, ocel, beton
$L > 18 \text{ m}$	ocel

Ocelové haly jsou z ekonomického hlediska výhodné. Jsou zde nízké náklady na výstavbu, samotná výstavba je velice rychlá a šetrná k životnímu prostředí. U hal velkých rozměrů je ocel nejkvalitnějším stavebním materiálem, u menších staveb je výhodou, že je ocelová konstrukce lehká.

Podle projekční a výrobní náročnosti dělíme haly na standardní a na objednávku.

Haly standardní (typové, hromadně vyráběné) jsou levnější a běžně dostupné. Využívají se především u hal bez jeřábů nebo s lehkými jeřáby.

Haly na objednávku (individuálně projektované) se navrhují pro konkrétní výrobu nebo použití.

Podle konstrukce dělíme haly na haly s jeřáby a bez jeřábů.

Průmyslové haly s jeřáby slouží pro výrobu nebo jako skladiště.

Lehké haly bez jeřábů slouží zejména pro zemědělské účely nebo pro různé lehké provozy.

Výška hal je obdobná, proto konstrukční systém hal ve velké míře závisí na jejich rozpětí. Pro konstrukci je rozhodující způsob přenesení zatížení působícího svisle nebo kolmo na střešní rovinu. Pro haly běžných rozpětí (cca do 30 m) se většinou vystačí s příhradovou nebo plnostěnnou konstrukcí, zatímco pro haly velkých rozpětí se obvykle používají speciální systémy (velkorozponové nosníky, zavěšené a visuté konstrukce, využívá se prostorové chování konstrukce).

1.2 Dispoziční řešení hal

Hlavní části konstrukce haly jsou:

- střešní konstrukce;
- příčné vazby (sloupy a vazníky, štítové stěny, rámy);
- podélné ztužení stěn haly;
- konstrukce obvodových stěn;
- jeřábové dráhy.

Střešní konstrukce je složena ze střešního pláště, vaznic, vazníků, průvlaků a velkého množství ztužidel, která zabezpečují její prostorovou tuhost. Hlavním nosným prvkem haly jsou sloupy se střešními vazníky nebo příčné vazby tvořené rámovou konstrukcí. Štítové stěny se před příčnou vazbou obvykle předsazují, takže je v příčném směru tuhost haly zabezpečena tuhostí samotných příčných vazeb. V podélném směru je tuhost haly zajištěna pomocí vertikálního ztužení (tzv. větrové ztužidlo) stěn haly. Obvodové stěny tvoří většinou silikátové nebo kovoplastické pláště. Okna a vrata lemuji překlady a pomocné sloupky.



Obr. 1 Výrobní a skladovací hala v Mošnově

Haly mohou být jednodílné a vícedílné se souběžnými loděmi nebo kolmými loděmi. Lod' je definovaná dvěma souběžnými řadami sloupů, které tvoří jednotlivá pole.

Půdorysná vztážná soustava haly je dána roztečí sloupů a rozpětím lodě. Rozpětí vazníků je stejné jako rozpětí lodě, většinou 12 až 30 m. Sloupy mívají rozteč 6 až 12 m. Rozložení sloupů u hal s jeřáby je zpravidla nesymetrické.

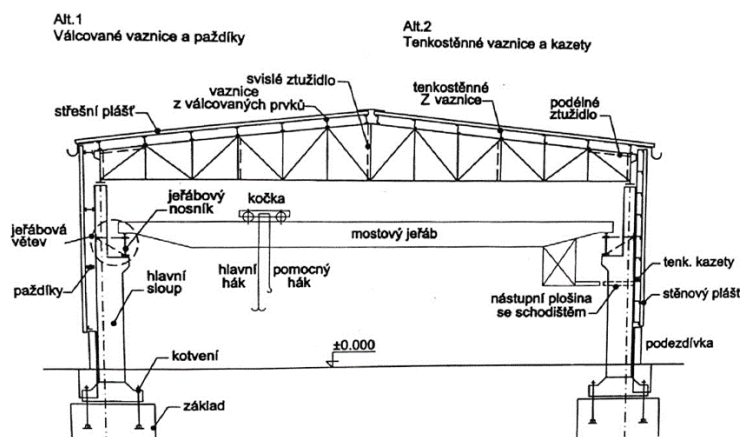
Střešní konstrukce je závislá na rozteči sloupů:

- při rozteči nad 6 m se používá vaznicový systém (střešní plášť, vaznice, vazník, případně průvlak);
- při rozteči do 6 m se používá bezvaznicový systém (střešní plášť, vazník, případně průvlak).

Výškové uspořádání konstrukce haly a prostorovou úpravu jeřábové dráhy řeší dispozice příčného řezu. Žádná část konstrukce haly ani jiné zařízení (osvětlení, rozvody atd.) nesmí zasahovat do průřezního profilu jeřábu. Základní rovina $\pm 0,000$ se volí v úrovni podlahy, světlá výška haly je svislá vzdálenost dolní skladebné plochy vazníku od základní roviny. U hal s mostovými jeřáby je to vzdálenost horní plochy kolejnice od základní roviny. Průřezný profil jeřábu je stanovený největším obrysem jeřábu zvětšeným o součet následujících tří vzdáleností:

- bezpečná vzdálenost (svislá a boční vůle);
- hodnoty požadované rektifikace jeřábových drah;
- hodnoty výroby montážních odchylek jeřábových drah.

Parametrem horizontálního uspořádání příčného řezu (vedle rozpětí lodě) je rozchod jeřábové dráhy. Je nutné také pamatovat na prostor pro umístění vodorovného nosníku jeřábové dráhy, průchozí lávku nebo revizní lávku. Důležité je také dodržet normy na požadavky zajištění přístupu do kabiny jeřábu a výstupu na lávky jeřábové dráhy (schodiště, žebříky, nástupní plošiny).

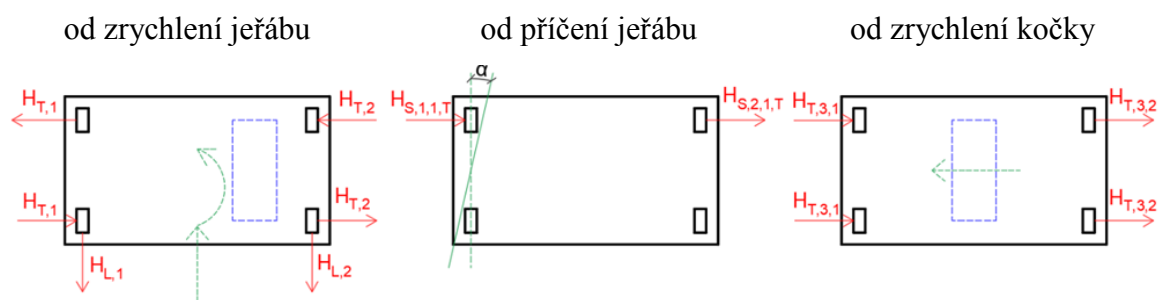


Obr. 2 Příklad příčné vazby s příhradovými vazníky a vetknutými sloupy, kde je použito alternativní řešení střešního pláště a stěn [11]

1.3 Zatížení hal

U halových objektů řešíme:

- **stálé zatížení** – hmotnost střešního pláště, nosné ocelové konstrukce a obvodového pláště;
- **zatížení jeřáby** – síly působí svisle i vodorovně, u mostových jeřábů silami napříč a ve směru jeřábového nosníku;



Obr. 3 Vodorovná proměnná zatížení

- **zatížení sněhem** – hodnoty tíhy sněhu se určují podle mapy sněhových oblastí, hodnota charakteristického zatížení se určuje pomocí tvarových součinitelů, které jsou dány tvarem střechy, střešními nádstavbami, ale i teplotou nebo rozměry objektu;
- **zatížení větrem** – základní tlak větru se stanoví podle lokality stavby, podobně jako u sněhu; Mapa republiky je rozdělena na pět větrových oblastí s odlišnou rychlostí a tudíž i tlakem větru. Tvarové součinitele závisí na tvaru objektu (střecha, obvodové zdi, střešní nádstavby...);
- **ostatní zatížení** – jiná technologická a provozní zatížení, jako jsou větrací zařízení na střeše, osvětlení, energetické rozvody, je nutné uvažovat i účinky teplotních rozdílů, poklesu podpor v případě půdního poddolování nebo zemětřesení;
- **vliv imperfekcí soustavy** – tj. naklonění sloupů o úhel ϕ , což znamená, že každé svislé zatížení je doprovázeno vodorovnou složkou.

1.4 Prostorová tuhost konstrukce haly

Prostorovou tuhost haly zajišťuje:

- **střešní rovina** – navrhujeme příčná ztužidla, podélná ztužidla, svislá ztužidla střechy, ztužidla v rovině dolních pásů vazníků a rámových příčlích, táhla nebo vzpěry mezi vaznicemi;
- **příčný směr haly** – tuhost zajišťují příčné vazby a štitové stěny;
- **podélný směr haly** – sloupy se považují za kloubově uložené na základ.

Prostorovou tuhost střešní konstrukce zajišťují ztužidla:

- **příčná ztužidla** - příhradový nosník umístěný ve střešní rovině, hlavním úkolem příčného ztužidla je přenést vodorovné vnější síly působící v rovině střechy (vítr na štítovou stěnu, tření větru o krytinu) a zajistit tlačené pásy vazníků proti vybočení;
- **podélná ztužidla** – přenáší zatížení od větru v příčném směru do štítových stěn, navrhuje se jako příhradový nosník u jednolodních hal a umísťuje se mezi okapovou a první mezilehlou vaznicí;
- **svislá ztužidla střechy** – probíhají v podélném směru mezi vazníky, mohou plnit funkci vaznice. Dělí se podle umístění na krajní a mezilehlé.

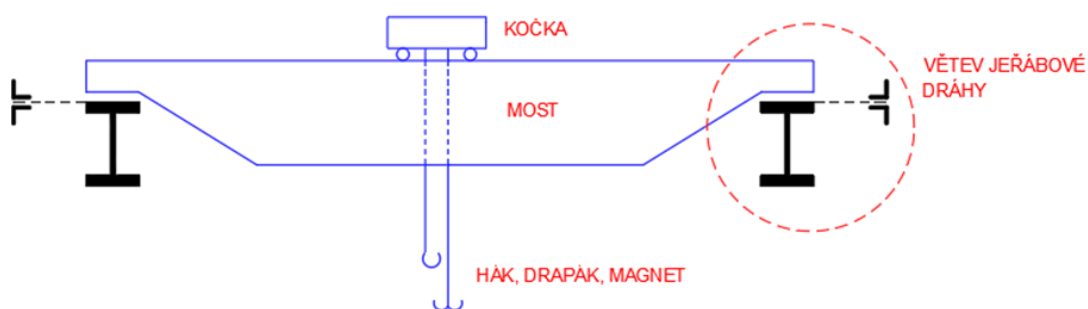
1.5 Jeřábové dráhy

Jeřábové dráhy jsou konstrukce umožňující provoz jeřábů. Jeřáby mohou být mostové, podvěsné nebo konzolové, méně často portálové nebo poloportálové jeřáby.

Mostové jeřáby

Nejrozšířenější typ jeřábů, skládá se z mostu, který pojíždí po kolejnicích jeřábové dráhy a z kočky, která se pohybuje po mostě a nese zdvihací zařízení pro zavěšení břemene. Jeřáb bývá řízený z kabiny umístěné na mostu jeřábu nebo ze země.

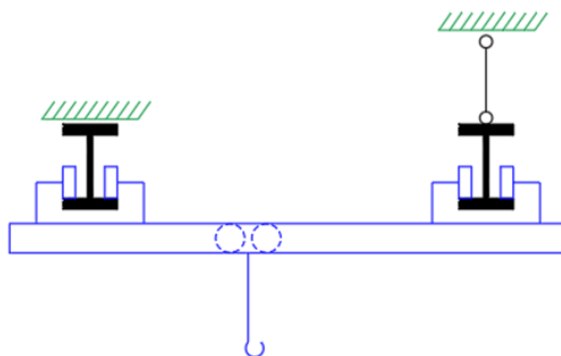
Mostové jeřáby lze dělit podle nosnosti na lehké (nosnost do 12,5 t), středně těžké (nosnost 12,5 až 50 t) a těžké (nosnost nad 50 t).



Obr. 4 Schéma mostového jeřábu

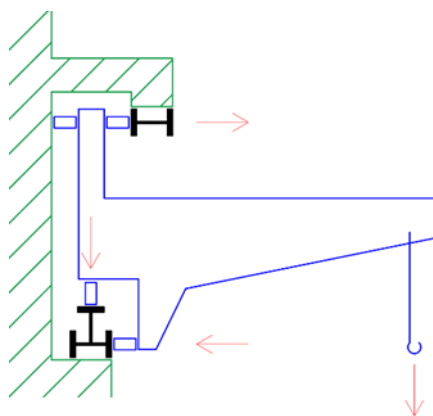
Podvěsné mostové jeřáby

Většinou se pohybuje po spodních přírubách nosníků. Jeden z nosníků je zavěšen pevně, ostatní nosníky jsou výkyvné

*Obr. 5 Schéma podvěsného mostového jeřábu*

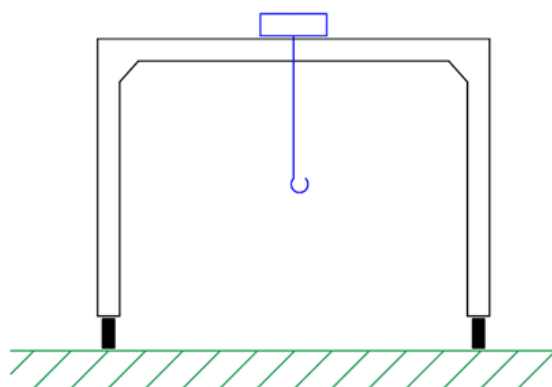
Konzolové jeřáby

Jeřábová dráha je zpravidla tvořena třemi nosníky, které jsou upevněny k nosné konstrukci objektu.

*Obr. 6 Schéma konzolového jeřábu*

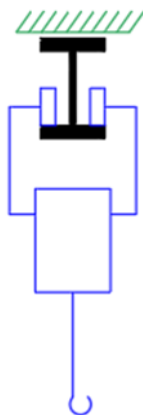
Portálové jeřáby

Jeřábová dráha je uložena na pevném podkladu. V provozu nebezpečné, dnes se téměř nenavrhují.

*Obr. 7 Schéma portálového jeřábu*

Kladkostroje

Pohybují se po spodní přírubě jednoho zavěšeného nosníku.



Obr. 8 Schéma kladkostroje

Jeřábová dráha je závislá na typu jeřábu a skládá se z nosných částí, po kterých jeřáby pojíždějí (větvě jeřábových drah) a doplňkových konstrukcí (kolejnice, nárazníky, plošiny, výstupy atd.). Konstrukční řešení jeřábové dráhy je dáno typem zatížení, rozpětím nosníků a velikostí zatížení. Pro lehké jeřáby při malém rozpětí dráhy (do 6 m) se používají nosníky z válcového profilu I, HEB a HEA. Pro středně těžké jeřáby a větší rozpětí dráhy se používají jeřábové dráhy se složeným nosníkem, který se skládá ze svislého (hlavního) nosníku a vodorovného nosníku. Svislý nosník může být svařovaný jednoose symetrický průřez I s mohutnější horní pásnicí. Vodorovný nosník může být příhradový nebo plnostěnný a slouží zároveň jako podpora pro lávku. Pro zvláště těžké jeřáby se navrhují jeřábové dráhy s dvojstěnným nosníkem, který při dostatečné šířce průřezu přenesou i vodorovné zatížení a proto se zde nenavrhují vodorovné nosníky. Ze statického hlediska se nosníky jeřábové dráhy navrhují jako prosté (obvyklé řešení, velký průhyb, těžší, možnost rektifikace,...) nebo spojitě (menší průhyb, úspora materiálu, klidnější provoz jeřábu).

Funkční části jeřábových drah:

- **jeřábová kolejnice** – přímo namáhána koly jeřábu, vyrábí se z kvalitní oceli
- **nárazníky** – zamezují havárii při selhání brzdového systému
- **jeřábová průchozí lávka** – zajišťuje bezpečný průchod na mostový jeřáb
- **obslužná lávka** – slouží k opravě a údržbě jeřábu



Obr. 9 Zemědělská skladovací hala s rámovou konstrukcí a jeřábovou drahou v Petřvaldě u Mošnova

2 Dispoziční řešení výrobní haly

Dispozice výrobní haly je řešená jako dvě jednolodní haly, které sdílejí střední sloup. Skládají se z hlavní lodě, na kterou navazuje kryté skladiště a z vedlejší lodě (přístavby). V hale se nachází jeden mostový jeřáb, který se pohybuje v hlavní lodi a krytém skladišti. Předběžně byly zpracovány 3 konstrukční řešení, z kterých bylo jedno vybráno a následně podrobně zpracováno. Této variantě se věnuje diplomová práce v celém svém rozsahu.

Základní parametry, které jsou použité ve všech třech variantách:

- **Hlavní loď**

Rozpětí $L = 10,660\text{ m}$

Rozteč hlavních nosných sloupů $l = 6,100\text{ m}$

Výška sloupu v okapu $h = 7,842\text{ m}$

Délka $D = 24,400\text{ m}$ ($4 \times 6,100\text{ m}$)

Mostový jeřáb $6,3\text{ t} / 10\text{ m}$

- **Kryté skladiště**

Rozpětí $L = 10,660\text{ m}$

Rozteč hlavních nosných sloupů $l = 6,100\text{ m}$

Výška sloupu v okapu $h = 7,842\text{ m}$

Délka $D = 12,200\text{ m}$ ($2 \times 6,100\text{ m}$)

Mostový jeřáb $6,3\text{ t} / 10\text{ m}$

- **Vedlejší loď (přístavba)**

Rozpětí $L = 10,660$

Rozteč hlavních nosných sloupů $l = 6,100\text{ m}$

Výška sloupu v okapu $h = 5,444\text{ m}$

Délka $D = 24,400\text{ m}$ ($4 \times 6,100\text{ m}$)

1. Varianta

Základní nosný systém budovy tvoří příčné vazby sestávající z hlavních nosných plnostěnných sloupů a plnostěnných střešních příčlí. Polorám přístřešku (vedlejší loď) je připojen kloubově k hlavní lodi. Patka sloupu je ukotvena pomocí nosných kotevních šroubů do železobetonového základu. Ze statického hlediska je příčná vazba navržena jako rámová konstrukce s kloubově připojeným polorámem a s kloubovými patkami. Jedná se o 2x staticky neurčitou soustavu. Na příčle se přes plechové botky uchyty tenkostěnné vaznice v rozteči do 1,5 m. Příčel je z roviny rámu stabilizovaná podélnými rozpěrami ve vrcholu, rozích a v polovině rozpětí příčle.

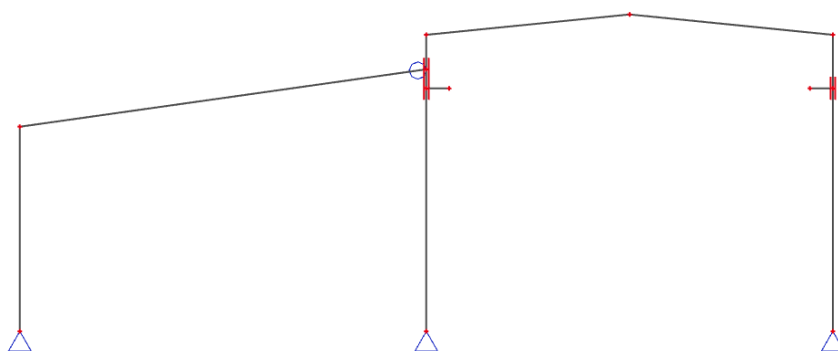
Hlavní nosné prvky příčné vazby:

Sloup:

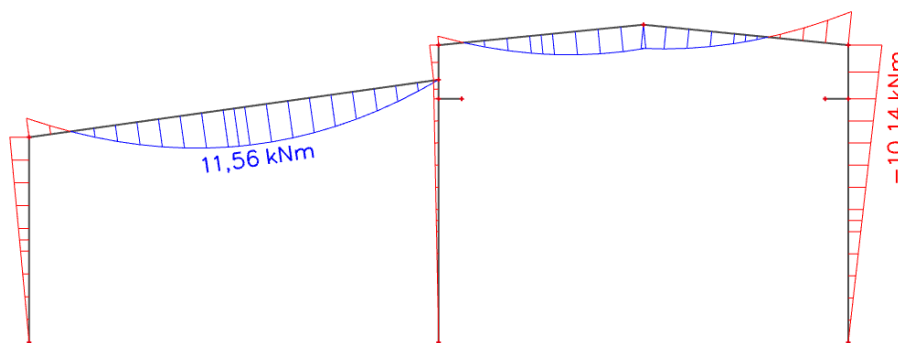
- kloubové uložení na ŽB patky
- plnostěnný, tvořený HEA profilem

Příčel:

- rámový roh s náběhem u sloupu
- plnostěnná, tvořena IPE profilem



Obr. 10 Statické schéma



Obr. 11 Průběh ohybových momentů od svislého spojitého zatížení na střeše (uvažován 1 kN/m)

Výhody:

- minimální účinky momentů na základovou konstrukci, což nám dovoluje snížit její rozměry
- vlivem spolupůsobení stojky a příčle rámu dochází ke snížení ohybových momentů v rámové příčli

Nevýhody:

- velké vodorovné deformace

2. Varianta

Základní nosný systém budovy tvoří příčné vazby sestávající z hlavních nosných plnostěnných sloupů a z příhradových střešních vazníků. Patka sloupu je ukotvena pomocí nosných kotevních šroubů do železobetonového základu. Ze statického hlediska je příčná vazba navržena jako systém s vetknutými sloupy a kloubově připojeným příhradovým vazníkem. Jedná se o 2x staticky neurčitou soustavu. Na vazníky se přes plechové botky uchytí tenkostěnné vaznice v rozteči do 1,5 m. Vazník je z roviny rámu stabilizovaný podélnými rozpěrami ve vrcholu, rozích a v polovině rozpětí vazníku.

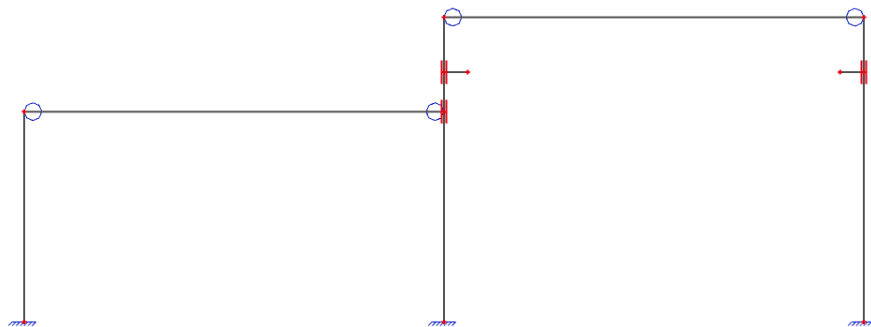
Hlavní nosné prvky příčné vazby:

Sloup:

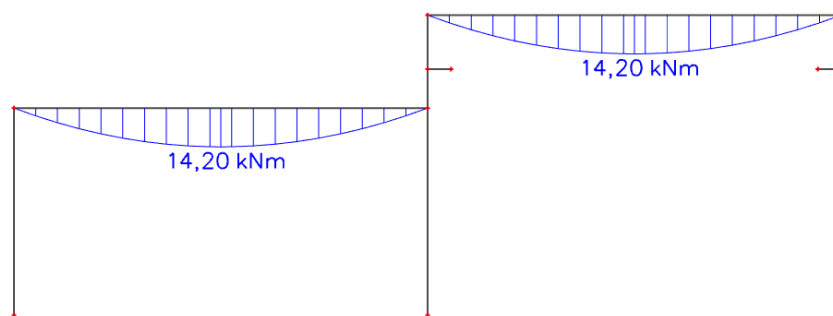
- vetknutý do ŽB patky
- plnostěnný, tvořený HEA profilem

Vazník:

- kloubově uložen na sloupu
- příhradový
- vrchní a spodní pás tvořený HEB profily, diagonály a svislice tvořené L profily



Obr. 12 Statické schéma



Obr. 13 Průběh ohybových momentů od svislého spojitého zatížení na střeše (uvažován 1 kN/m)

Výhody:

- jednoduchý detail napojení vazníku na sloupky umožňující použití příhradového vazníku
- nižší hmotnost
- vhodné pro použití pokud se předpokládá nerovnoměrný pokles podpor

Nevýhody:

- tuhost sloupů se nepodílí na přenosu svislého zatížení (ohybový moment ve styčnicku je roven nule), tudíž roste průhyb příčle
- vyšší pracnost výroby
- těžká základová konstrukce, která musí přenést ohybové momenty

3. Varianta

Základní nosný systém budovy tvoří příčné vazby sestávající z hlavních nosných plnostěnných sloupů a plnostěnných střešních příčlí. Patka sloupu je ukotvena pomocí nosných kotevních šroubů do železobetonového základu. Ze statického hlediska je příčná vazba navržena jako rámová konstrukce s vetknutými patkami. Jedná se o 6x staticky neurčitou konstrukci. Na příčle se přes plechové botky uchyty tenkostěnné vaznice v rozteči do 1,5 m. Příčel je z roviny rámu stabilizovaná podélnými rozpěrami ve vrcholu, rozích a v polovině rozpětí příčle.

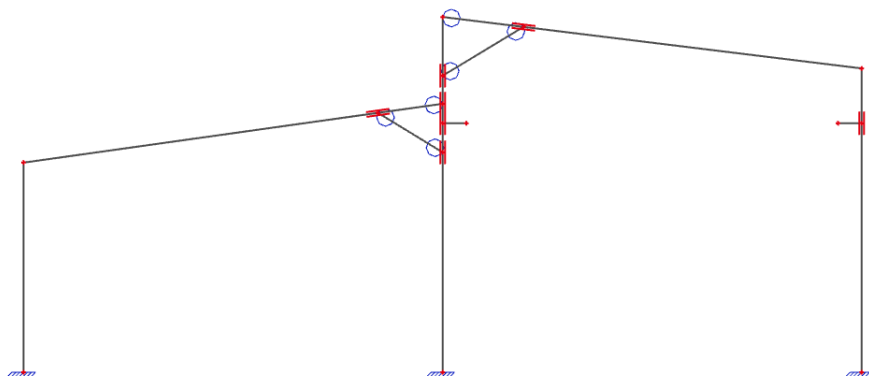
Hlavní nosné prvky příčné vazby:

Sloup:

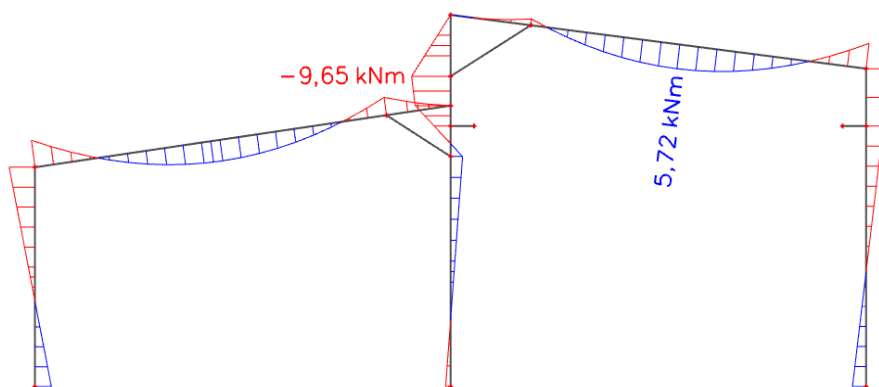
- vetknutý do ŽB patky
- plnostěnný, tvořený HEA profilem

Příčel:

- rámový roh s náběhem (na jedné straně)
- kloubově uložena na sloupu se vzpěrou (na druhé straně)
- plnostěnná, tvořena IPE profilem



Obr. 14 Statické schéma



Obr. 15 Průběh ohybových momentů od svislého spojitého zatížení na střeše (uvažován 1 kN/m)

Výhody:

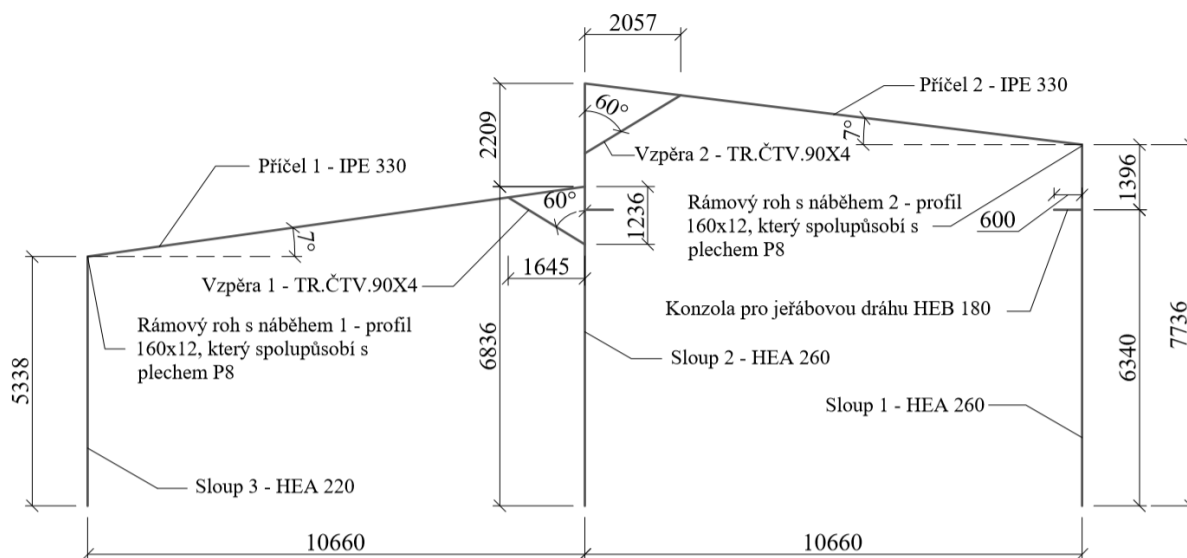
- menší ohybové momenty v místě rámového rohu oproti variantě 1
- větší tuhost v příčném směru
- menší pracnost oproti příhradovému řešení
- malé vodorovné posuny

Nevýhody:

- těžká základová konstrukce, která musí přenést kromě svislých a vodorovných složek reakcí také ohybové momenty
- citlivá na pokles podpor

První variantu (kloubově uložené sloupy) nelze použít z důvodů velkých vodorovných deformací vylučující použití jeřábové dráhy. U druhé varianty jsou velkou nevýhodou velké ohybové momenty ve vaznících a minimální ve sloupech, tudíž se jedná o neekonomický návrh. Ve třetí variantě jsou hodnoty ohybových momentů oproti předcházejícím variantám nejmenší. Proto byla pro statický výpočet vybrána varianta č. 3.

Všechny prvky nosné konstrukce haly včetně hlavního nosníku jeřábové dráhy byly navrženy z oceli S235. Kolejnice jeřábové dráhy byla navržena z oceli S355.



Obr. 16 Základní schéma řešeného rámu

3 Statický výpočet

Použité zdroje a literatura [1-19]

3.1 Stálé zatížení

Stálé zatížení bylo uvažováno:

vlastní tíha nosné konstrukce

střešní plášť	$g_1 = 0,0963 \text{ kN/m}^2$
---------------	-------------------------------

tenkostěnné vaznice	$g_2 = 0,0233 \text{ kN/m}^2$
---------------------	-------------------------------

lehké elektrorozvody	$g_3 = 0,08 \text{ kN/m}^2$
----------------------	-----------------------------

celkem střecha	$g_{celk.} = 0,20 \text{ kN/m}^2$
-----------------------	-----------------------------------------------------

obvodový plášť	$g_4 = 0,1013 \text{ kN/m}^2$
----------------	-------------------------------

rezerva (paždíky apod.)	$g_5 = 0,05 \text{ kN/m}^2$
-------------------------	-----------------------------

celkem stěny	$g_{celk.} = 0,15 \text{ kN/m}^2$
---------------------	-----------------------------------------------------

Pro výpočet bylo uvažováno celkové zatížení na střeše $0,20 \text{ kN/m}^2$ a celkové zatížení na stěny $0,15 \text{ kN/m}^2$.

3.2 Zatížení sněhem

Použité zdroje a literatura [3]

Vstupní údaje:

Lokalita: Pňov-Předhradí

Sněhová oblast: I

Výpočet tíhy sněhu:

Sněhová oblast: $s_k = 0,7 \text{ kN/m}^2$

Součinitel expozice: $C_e = 1,0$

Tepelný součinitel: $C_t = 1,0 \quad \lambda < 1,0 \text{ W/m}^2 \text{ K}$

Sklon střechy: $\alpha_{1,2} = 7^\circ \quad 0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$

Tvarový součinitel: $\mu_l = 0,8$

μ_w - je tvarový součinitel zatížení sněhem zohledňující působení větru

μ_s - je tvarový součinitel zatížení sněhem zohledňující sesuv sněhu z horní střechy (v tomto případě se neuvažuje)

Objem tíha sněhu: $\gamma = 2 \text{ kN/m}^3$

Rozpětí hlavní lodě: $b_l = 10,66 \text{ m}$

Rozpětí přístavby: $b_2 = 10,66 \text{ m}$

Výška úskoku: $h = 2,209 \text{ m}$

$$\mu_w = (b_1 + b_2)/2 \cdot h \leq \gamma \cdot h/s_k$$

$$4,826 \leq 6,311$$

Charakteristická hodnota zatížení:

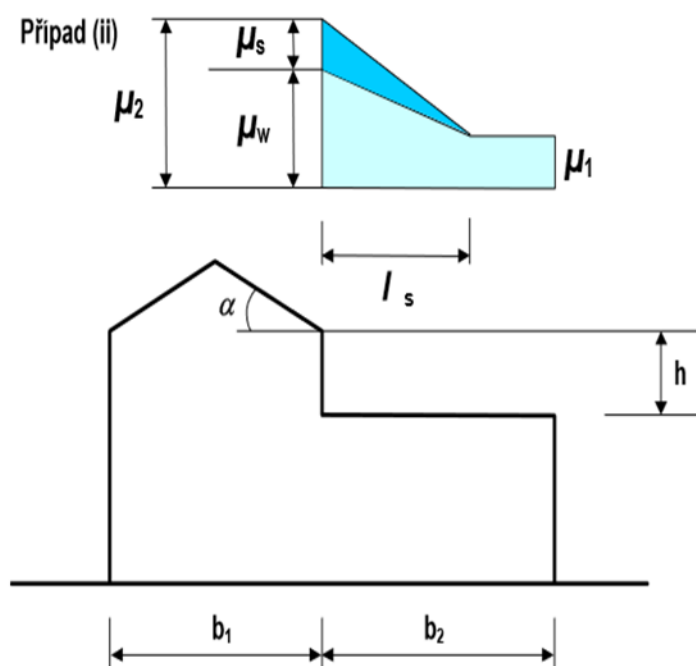
a) sníh nenavátý

$$s_{k1} = s_k \cdot C_e \cdot C_t \cdot \mu_1 = 0,560 \text{ kN/m}^2$$

b) sníh navátý

$$s_{k2} = \mu_2 \cdot s_k = \mu_w \cdot s_k = 3,378 \text{ kN/m}^2$$

Délka návěje: $l_s = 2 \cdot h = 4,418 \text{ m}$



Obr. 17 Uspořádání zatížení při navátí [3]

3.3 Zatížení větrem

Použité zdroje a literatura [4]

Střecha má sklon 7° a je rozdělená na dvě pultové střechy. Vrata k hlavní lodi se otevírají pouze za příznivých povětrnostních podmínek. Při silném větru zůstávají vrata zavřená a jeřáb se pohybuje pouze uvnitř hlavní lodě.

Určení základního dynamického tlaku větru pro vyšší pultovou střechu

Vstupní údaje:

Lokalita: Pňov-Předhradí

Větrová oblast: II.

Výchozí základní rychlost větru: $v_{b,0} = 25 \text{ m/s}$

Kategorie terénu: III

Výpočet zatížení:

Součinitel směru větru: $C_{dir} = 1,0$

Součinitel ročního období: $C_{season} = 1,0$

Základní rychlost větru: $v_b = C_{dir} \cdot C_{season} \cdot v_{b,0} = 25 \text{ m/s}$

Místní vlivy:

Kategorie terénu III: $h < b$

Minimální výška pro kategorii terénu: $z_{min} = 5,0 \text{ m}$

Parametr drsnosti terénu: $z_0 = 0,3 \text{ m}$

$$z_{0,II} = 0,05 \text{ m}$$

Referenční výška pro výpočet tlaku větru: $z_e = 9,20 \text{ m}$

Maximální výška stěn pro určení poměrů: $h = 9,20 \text{ m}$

Součinitel terénu:
$$k_r = 0,19 \cdot \left(\frac{z_0}{z_{0,II}} \right)^{0,07} = 0,215$$

Součinitel drsnosti terénu:
$$c_r(z) = k_r \cdot \ln \left(\frac{z}{z_0} \right) = 0,737$$

Součinitel ortografie:	$c_0(z) = 1,0$
Střední rychlost větru:	$v_m(z) = c_r(z) \cdot c_0(z) \cdot v_b = 18,433 \text{ m/s}$
Součinitel turbulence:	$k_I = 1,0$

Intenzita turbulence:

$$I_v(z) = \frac{k_I}{c_0(z) \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)} = 0,292$$

Maximální dynamický tlak:

Měrná hmotnost vzduchu:

$$\rho = 1,25 \text{E-}03 \text{ kN/m}^3$$

Charakteristický max. dyn. tlak:

$$q_p(z) = [1 + 7 \cdot I_v(z)] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m^2(z) = 0,647 \text{ kN/m}^2$$

Součinitel konstrukce:

$$c_s c_d = 1,0$$

Určení základního dynamického tlaku větru pro nižší pultovou střechu**Vstupní údaje:**

Lokalita:	Pňov-Předhradí
Větrová oblast:	II.
Výchozí základní rychlost větru:	$v_{b,0} = 25 \text{ m/s}$
Kategorie terénu:	III

Výpočet zatížení:

Součinitel směru větru:	$C_{dir} = 1,0$
Součinitel ročního období:	$C_{season} = 1,0$
Základní rychlost větru:	$v_b = C_{dir} \cdot C_{season} \cdot v_{b,0} = 25 \text{ m/s}$

Místní vlivy:

Kategorie terénu III:	$h < b$
Minimální výška pro kategorii terénu:	$z_{min} = 5,0 \text{ m}$
Parametr drsnosti terénu:	$z_0 = 0,3 \text{ m}$
	$z_{0,II} = 0,05 \text{ m}$
Referenční výška pro výpočet tlaku větru:	$z_e = 6,90 \text{ m}$
Maximální výška stěn pro určení poměrů:	$h = 6,90 \text{ m}$

Součinitel terénu:
$$k_r = 0,19 \cdot \left(\frac{z_0}{z_{0,II}} \right)^{0,07} = 0,215$$

Součinitel drsnosti terénu:
$$c_r(z) = k_r \cdot \ln \left(\frac{z}{z_0} \right) = 0,675$$

Součinitel ortografie:
$$c_0(z) = 1,0$$

Střední rychlost větru:
$$v_m(z) = c_r(z) \cdot c_0(z) \cdot v_b = 16,844 \text{ m/s}$$

Součinitel turbulence:
$$k_I = 1,0$$

Intenzita turbulence:
$$I_v(z) = \frac{k_I}{c_0(z) \cdot \ln \left(\frac{z}{z_0} \right)} = 0,319$$

Maximální dynamický tlak:

Měrná hmotnost vzduchu:
$$\rho = 1,25 \text{E-}03 \text{ kN/m}^3$$

Charakteristický max. dyn. tlak:
$$q_p(z) = [1 + 7 \cdot I_v(z)] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m^2(z) = 0,576 \text{ kN/m}^2$$

Součinitel konstrukce:
$$c_s c_d = 1,0$$

Je uvažován vnitřní podtlak a přetlak při částečném otevření budovy. Vnitřní a vnější tlaky jsou skládány dohromady.

3.3.1 Zatížení větrem na stěny s pravoúhlým půdorysem

Směr větru 0° a 90° .

Příčné působení větru - působí v rovině hlavního rámu (stěna)

Pro oblasti D a E byly uplatněny součinitele nedostatečné korelace. Plocha stěn a střechy je vystavená působení větru větší než je 10 m^2 , proto bylo podle normy [4], uvažováno s hodnotami součinitelů vnějšího tlaku $c_{pe,10}$.

Parametry:

$b = 24,9 \text{ m}$

$h/d = 0,422$

$h = 9,2 \text{ m}$

$e = \min(b; 2h) = 18,40 \text{ m} \quad e < d$

$d = 21,8 \text{ m}$

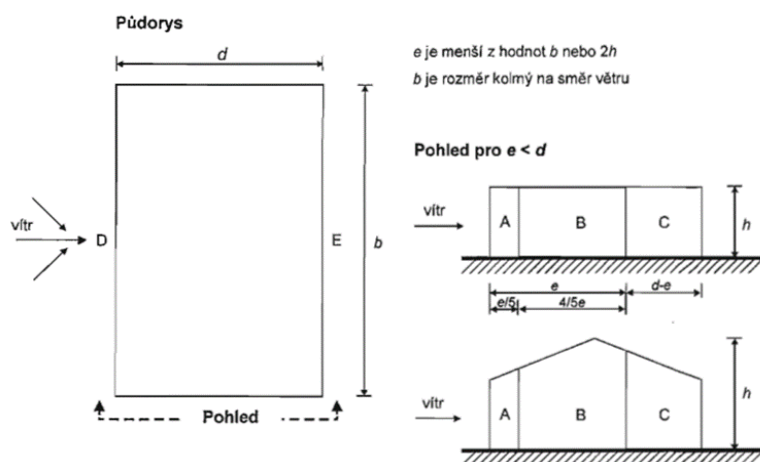
korelace $K = 0,85$

$\alpha = 7^\circ$

$e/5 = 3,68 \text{ m}$

$4e/5 = 14,72 \text{ m}$

$d - e = 3,40 \text{ m}$



Obr. 18 Legenda pro svislé stěny [4]

Tabulka 1 Součinitele vnějšího tlaku pro úhel $\theta = 0^\circ$

$c_{pe,10}^A$	-1,2
$c_{pe,10}^B$	-0,8
$c_{pe,10}^C$	-0,5
$c_{pe,10}^D$	0,615
$c_{pe,10}^E$	-0,294

Tabulka 2 Výsledné tlaky větru na stěnu pro úhel $\theta = 0^\circ$ [kN/m²]

w_k^i	$c_{pi,10}^+$	$c_{pi,10}^-$
	0,2	-0,3
w_k^A	-0,905	-0,582
w_k^B	-0,647	-0,323
w_k^C	-0,453	-0,129
w_k^D	0,268	0,591
w_k^E	-0,319	0,004

$$w_k^i = q_p(z) \cdot (c_{pe,10} - c_{pi,10})$$

Podélné působení větru - působí kolmo k rovině hlavního rámu (stěna)

Parametry:

$$b = 21,8 \text{ m}$$

$$h = 9,2 \text{ m}$$

$$d = 24,9 \text{ m}$$

$$\alpha = 7^\circ$$

$$h/d = 0,369$$


$$e = \min(b; 2h) = 18,40 \text{ m} \quad e < d$$

$$\text{korelace } K = 0,85$$

$$e/5 = 3,68 \text{ m}$$

$$4e/5 = 14,72 \text{ m}$$

$$d - e = 6,50 \text{ m}$$

Tabulka 3 Součinitele vnějšího tlaku pro úhel $\theta = 90^\circ$


$c_{pe,10}^A$	-1,2
$c_{pe,10}^B$	-0,8
$c_{pe,10}^C$	-0,5
$c_{pe,10}^D$	0,609
$c_{pe,10}^E$	-0,282

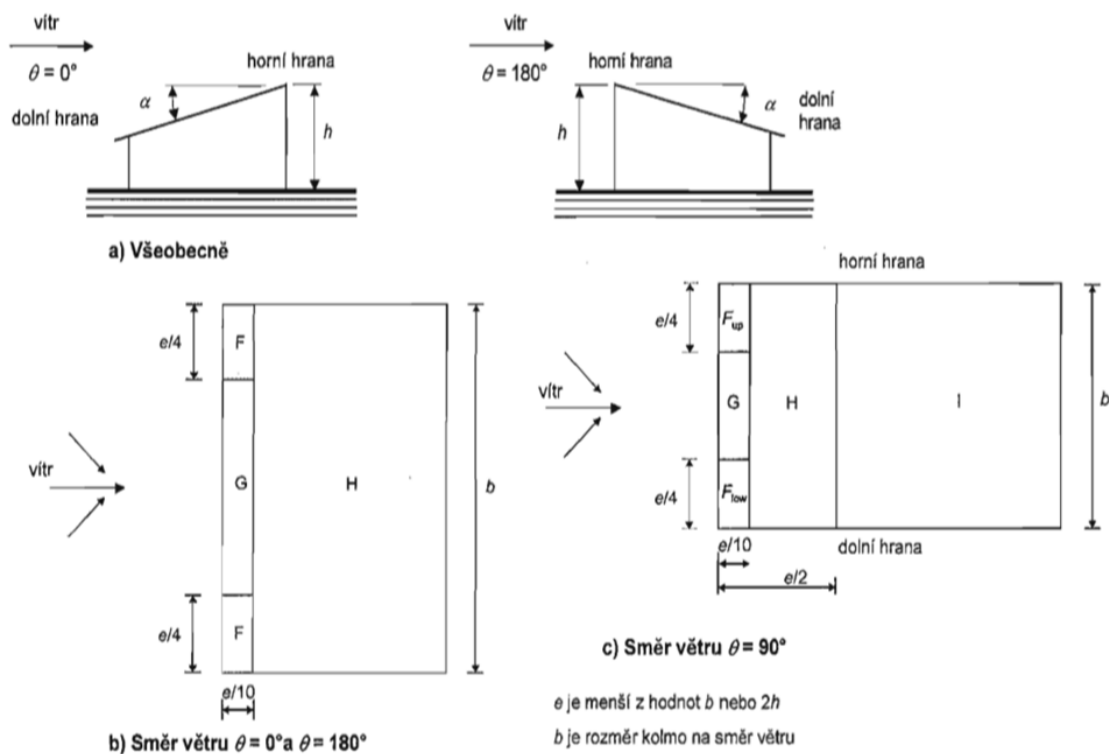
Tabulka 4 Výsledné tlaky větru na stěnu pro úhel $\theta = 90^\circ$ [kN/m²]

w_k^i	$c_{pi,10}^+$	$c_{pi,10}^-$
	0,2	-0,3
w_k^A	-0,905	-0,582
w_k^B	-0,647	-0,323
w_k^C	-0,453	-0,129
w_k^D	0,264	0,588
w_k^E	-0,312	0,012

$$w_k^i = q_p(z) \cdot (c_{pe,10} - c_{pi,10})$$

3.3.2 Zatížení větrem na stavby s pultovou střechou

Směr větru 0° , 180° a 90° .



Obr. 19 Legenda pro pultové střechy [4]

Nižší pultová střecha

Ze směru 180° byl tlak redukován na 60%. Při tomto směru větru je nižší střecha v zákrytu – vychází se z redukci větru na pilové a vícelodní střechy.

Příčné působení větru - působí v rovině hlavního rámu (střecha)

Parametry:

$$b = 25,1 \text{ m}$$

$$h = 6,9 \text{ m}$$

$$d = 10,7 \text{ m}$$

$$\alpha = 7^\circ$$


$$e = \min(b; 2h) = 13,80 \text{ m} \quad e < d$$

$$e/4 = 3,45 \text{ m}$$

$$e/10 = 1,38 \text{ m}$$

1. Příklad rozložení vnějších tlaků na oblasti střechy pro $\theta = 0^\circ$ a $\theta = 180^\circ$


Tabulka 5 Součinitele vnějšího tlaku
pro úhel $\theta = 0^\circ$



$c_{pe,10}^F$	-1,54
$c_{pe,10}^G$	-1,12
$c_{pe,10}^H$	-0,54

Tabulka 6 Součinitele vnějšího tlaku
pro úhel $\theta = 180^\circ$

$c_{pe,10}^F$	-2,34
$c_{pe,10}^G$	-1,3
$c_{pe,10}^H$	-0,82



Tabulka 7 Výsledné tlaky větru na střešní plášť
pro úhel $\theta = 0^\circ$ [kN/m²]

w_k^i	$c_{pi,10}^+$	$c_{pi,10}^-$
	0,2	-0,3
w_k^{F-}	-1,002	-0,714
w_k^{G-}	-0,760	-0,472
w_k^{H-}	-0,426	-0,138

$$w_k^i = q_p(z) \cdot (c_{pe,10} - c_{pi,10})$$


Tabulka 8 Výsledné tlaky větru na střešní plášť
pro úhel $\theta = 180^\circ$ [kN/m²]

w_k^i	$c_{pi,10}^+$	$c_{pi,10}^-$
	0,2	-0,3
w_k^{F-}	-1,463	-1,175
w_k^{G-}	-0,864	-0,567
w_k^{H-}	-0,587	-0,299

$$w_k^i = q_p(z) \cdot (c_{pe,10} - c_{pi,10})$$

2. Příklad rozložení vnějších tlaků na oblasti střechy pro $\theta = 0^\circ$

Tabulka 9 Součinitele vnějšího tlaku pro úhel $\theta = 0^\circ$



$c_{pe,10}^{F+}$	0,04
$c_{pe,10}^{G+}$	0,04
$c_{pe,10}^{H+}$	0,04

Tabulka 10 Výsledné tlaky větru na střešní plášť pro úhel $\theta = 0^\circ$ [kN/m²]

w_k^i	$c_{pi,10}^+$	$c_{pi,10}^-$
	0,2	-0,3
w_k^{F+}	-0,092	0,196
w_k^{G+}	-0,092	0,196
w_k^{H+}	-0,092	0,196

$$w_k^i = q_p(z) \cdot (c_{pe,10} - c_{pi,10})$$

Podélné působení větru - působí kolmo k rovině hlavního rámu (střecha)

Parametry:

$$b = 10,66 \text{ m}$$

$$h = 6,9 \text{ m}$$

$$d = 25,1 \text{ m}$$


$$\alpha = 7^\circ$$

$$e = \min(b; 2h) = 10,66 \text{ m} \quad e < d$$

$$e/4 = 2,67 \text{ m}$$

$$e/10 = 1,07 \text{ m}$$

$$e/2 = 5,33 \text{ m}$$

Tabulka 11 Součinitele vnějšího tlaku pro úhel $\theta = 90^\circ$


$c_{pe,10}^{F-}$	-2,16	up low
$c_{pe,10}^{F-}$	-2	
$c_{pe,10}^{G-}$	-1,82	
$c_{pe,10}^{H-}$	-0,64	
$c_{pe,10}^{L-}$	-0,540	

Tabulka 12 Výsledné tlaky větru na střešní plášť pro úhel $\theta = 90^\circ$ [kN/m²]

w_k^i	$c_{pi,10}^+$	$c_{pi,10}^-$	
	0,2	-0,3	
w_k^{F-}	-1,359	-1,071	up low
w_k^{F-}	-1,267	-0,979	
w_k^{G-}	-1,163	-0,875	
w_k^{H-}	-0,484	-0,196	
w_k^{L-}	-0,426	-0,138	

$$w_k^i = q_p(z) \cdot (c_{pe,10} - c_{pi,10})$$

Vyšší pultová střecha

Příčné působení větru - působí v rovině hlavního rámu (střecha)

Parametry:

$$b = 25,1 \text{ m}$$

$$h = 9,2 \text{ m}$$

$$d = 11,3 \text{ m}$$

$$\alpha = 7^\circ$$


$$e = \min(b; 2h) = 18,40 \text{ m} \quad e < d$$

$$e/4 = 4,6 \text{ m}$$

$$e/10 = 1,84 \text{ m}$$

1. Příklad rozložení vnějších tlaků na oblasti střechy pro $\theta = 0^\circ$ a $\theta = 180^\circ$


Tabulka 13 Součinitele vnějšího tlaku
pro úhel $\theta = 0^\circ$



$c_{pe,10}^F$	-1,54
$c_{pe,10}^G$	-1,12
$c_{pe,10}^H$	-0,54

Tabulka 14 Součinitele vnějšího tlaku
pro úhel $\theta = 180^\circ$

$c_{pe,10}^F$	-2,34
$c_{pe,10}^G$	-1,3
$c_{pe,10}^H$	-0,82



Tabulka 15 Výsledné tlaky větru na střešní plášť
pro úhel $\theta = 0^\circ$ [kN/m²]

w_k^i	$c_{pi,10}^+$	$c_{pi,10}^-$
	0,2	-0,3
w_k^F	-1,125	-0,802
w_k^G	-0,854	-0,530
w_k^H	-0,478	-0,155

$$w_k^i = q_p(z) \cdot (c_{pe,10} - c_{pi,10})$$


Tabulka 16 Výsledné tlaky větru na střešní plášť
pro úhel $\theta = 180^\circ$ [kN/m²]

w_k^i	$c_{pi,10}^+$	$c_{pi,10}^-$
	0,2	-0,3
w_k^F	-1,642	-1,319
w_k^G	-0,970	-0,647
w_k^H	-0,660	-0,336

$$w_k^i = q_p(z) \cdot (c_{pe,10} - c_{pi,10})$$

2. Příklad rozložení vnějších tlaků na oblasti střechy pro $\theta = 0^\circ$

Tabulka 17 Součinitele vnějšího tlaku pro úhel $\theta = 0^\circ$



$c_{pe,10}^{F+}$	0,04
$c_{pe,10}^{G+}$	0,04
$c_{pe,10}^{H+}$	0,04

Tabulka 18 Výsledné tlaky větru na střešní plášť pro úhel $\theta = 0^\circ$ [kN/m²]

w_k^i	$c_{pi,10}^+$	$c_{pi,10}^-$
	0,2	-0,3
w_k^{F+}	-0,103	0,220
w_k^{G+}	-0,103	0,220
w_k^{H+}	-0,103	0,220

$$w_k^i = q_p(z) \cdot (c_{pe,10} - c_{pi,10})$$

Podélné působení větru - působí kolmo k rovině hlavního rámu (střecha)

Pro podélný vítr byla brána délka hlavní lodě a přístřešku.

Parametry:

$$b = 11,3 \text{ m}$$

$$h = 6,9 \text{ m}$$

$$d = 36,6 \text{ m}$$


$$\alpha = 7^\circ$$

$$e = \min(b; 2h) = 11,30 \text{ m} \quad e < d$$

$$e/4 = 2,83 \text{ m}$$

$$e/10 = 1,13 \text{ m}$$

$$e/2 = 5,65 \text{ m}$$

Tabulka 19 Součinitele vnějšího tlaku pro úhel $\theta = 90^\circ$


$c_{pe,10}^{F-}$	-2,16	up low
$c_{pe,10}^{F-}$	-2	
$c_{pe,10}^{G-}$	-1,82	
$c_{pe,10}^{H-}$	-0,64	
$c_{pe,10}^{L-}$	-0,540	

Tabulka 20 Výsledné tlaky větru na střešní plášť pro úhel $\theta = 90^\circ$ [kN/m²]

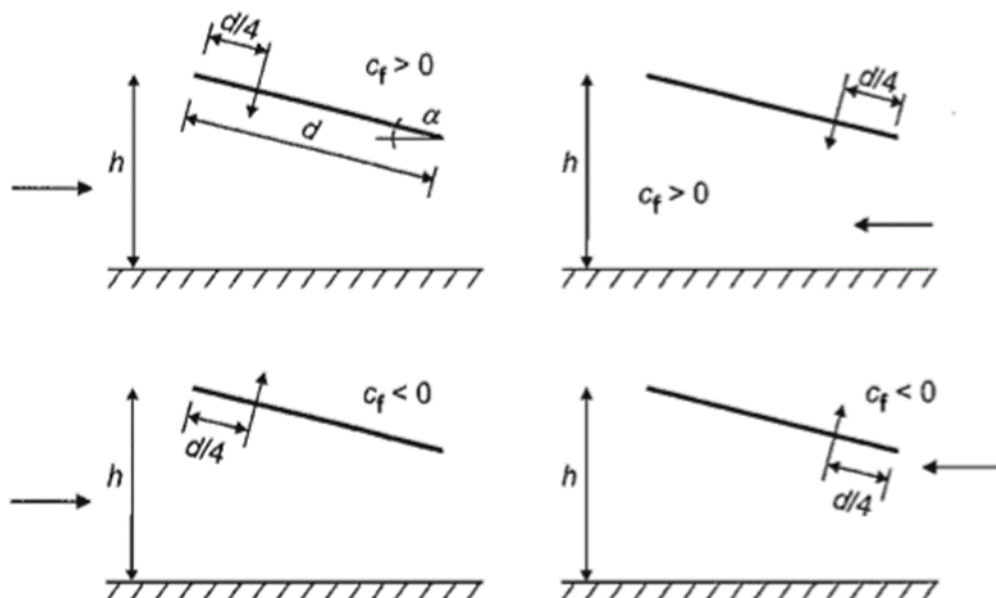
w_k^i	$c_{pi,10}^+$	$c_{pi,10}^-$	up low
	0,2	-0,3	
w_k^{F-}	-1,526	-1,203	up low
w_k^{F-}	-1,423	-1,099	
w_k^{G-}	-1,306	-0,983	up low
w_k^{H-}	-0,543	-0,220	
w_k^{L-}	-0,478	-0,155	up low

$$w_k^i = q_p(z) \cdot (c_{pe,10} - c_{pi,10})$$

3.3.3 Zatížení větrem na pultové přístřešky

Směr větru $\theta = 0^\circ$, $\theta = 180^\circ$ a $\theta = 90^\circ$.

Dle normy ČSN EN 1991-1-4 z dubna 2007, čl. 7.3 [4].



Obr. 20 Umístění působišť síly pro pultové střechy [4]

Příčné působení větru - působí v rovině hlavního rámu (přístřešek)

Parametry:

$$b = 12,2 \text{ m}$$

celková plocha

$$h = 9,2 \text{ m}$$

$$A_{ref} = b \cdot d = 137,86 \text{ m}^2$$

$$d = 11,3 \text{ m}$$

$$\alpha = 7^\circ$$

$$d/2 = 5,65 \text{ m}$$

1. Příklad rozložení celkové síly pro $\theta = 0^\circ$ - MAXIMA

Použito pro globální návrh krytého skladiště (viz Obr. 20).

Součinitel k_{ce} :

$$c_s c_d = 1,0$$

Součinitel síly:

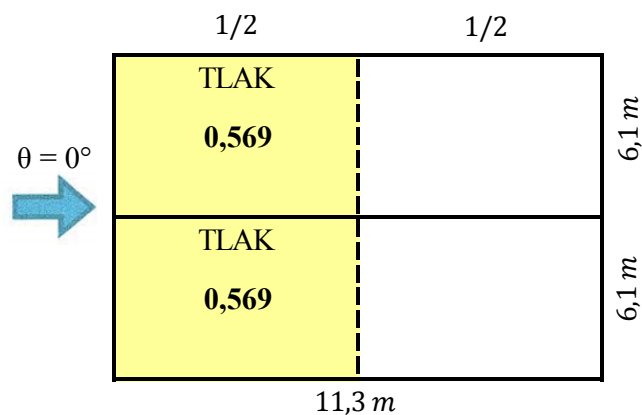
$$c_f = 0,44$$

Součinitel plnosti:

$$\phi = 0$$

$$F_w = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_p(z) \cdot A_{ref} = 39,2 \text{ kN}$$

$$q_{w+} = \frac{F_w}{b \cdot \frac{d}{2}} = 0,569 \text{ kN/m}^2$$



2. Příklad rozložení celkové síly pro $\theta = 0^\circ$ - MINIMA

Použito pro globální návrh krytého skladiště (viz Obr. 20).

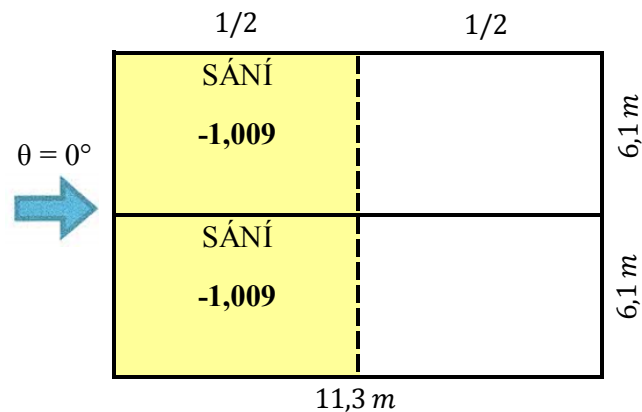
Součinitel kce : $c_s c_d = 1,0$

Součinitel síly: $c_f = -0,78$

Součinitel plnosti: $\phi = 0$

$$F_w = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_p(z) \cdot A_{ref} = -69,5 \text{ kN}$$

$$q_{w-} = \frac{F_w}{b \cdot \frac{d}{2}} = -1,009 \text{ kN/m}^2$$



3. Příklad rozložení celkové síly pro $\theta = 180^\circ$ - MAXIMA

Použito pro globální návrh krytého skladiště (viz Obr. 20).

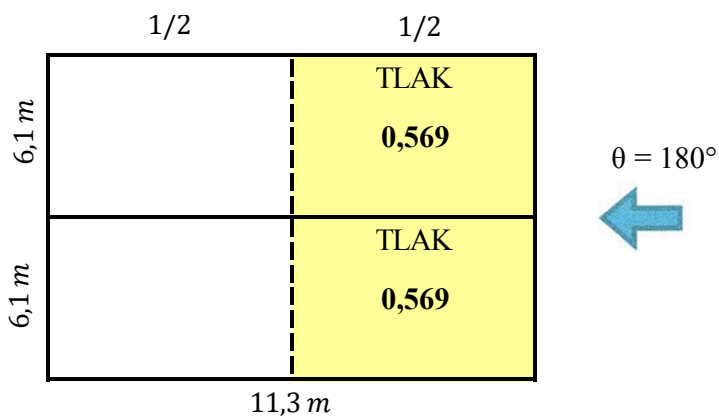
Součinitel kce : $c_s c_d = 1,0$

Součinitel síly: $c_f = 0,44$

Součinitel plnosti: $\phi = 0$

$$F_w = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_p(z) \cdot A_{ref} = 39,2 \text{ kN}$$

$$q_{w+} = \frac{F_w}{b \cdot \frac{d}{2}} = 0,569 \text{ kN/m}^2$$



4. Příklad rozložení celkové síly pro $\theta = 180^\circ$ - MINIMA

Použito pro globální návrh krytého skladiště (viz Obr. 20).

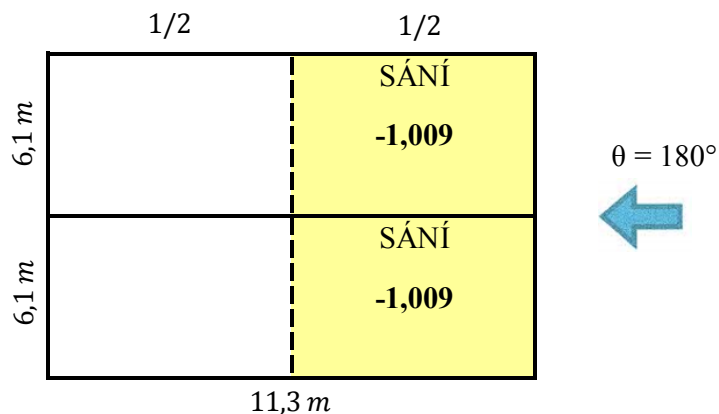
Součinitel kce : $c_s c_d = 1,0$

Součinitel síly: $c_f = -0,78$

Součinitel plnosti: $\phi = 0$

$$F_w = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_p(z) \cdot A_{ref} = -69,5 \text{ kN}$$

$$q_{w-} = \frac{F_w}{b \cdot \frac{d}{2}} = -1,009 \text{ kN/m}^2$$



Podélné působení větru - působí kolmo k rovině hlavního rámu (přístřešek)

Bylo uvažováno, že vrata k hlavní lodi jsou uzavřená.

Parametry:

$$b = 11,3 \text{ m}$$

$$h = 9,2 \text{ m}$$

$$d = 12,2 \text{ m}$$

$$\alpha = 0^\circ$$


$$d/10 = 1,22 \text{ m}$$

$$b/10 = 1,13 \text{ m}$$

1. Vítr podélný - zepředu

Kryté skladiště (přístřešek) v místě vrat navazuje na hlavní loď, proto nebyla oblast C zde uvažována (viz Obr. 21).

Tabulka 21 Součinitele vnějšího tlaku pro úhel $\theta = 90^\circ$

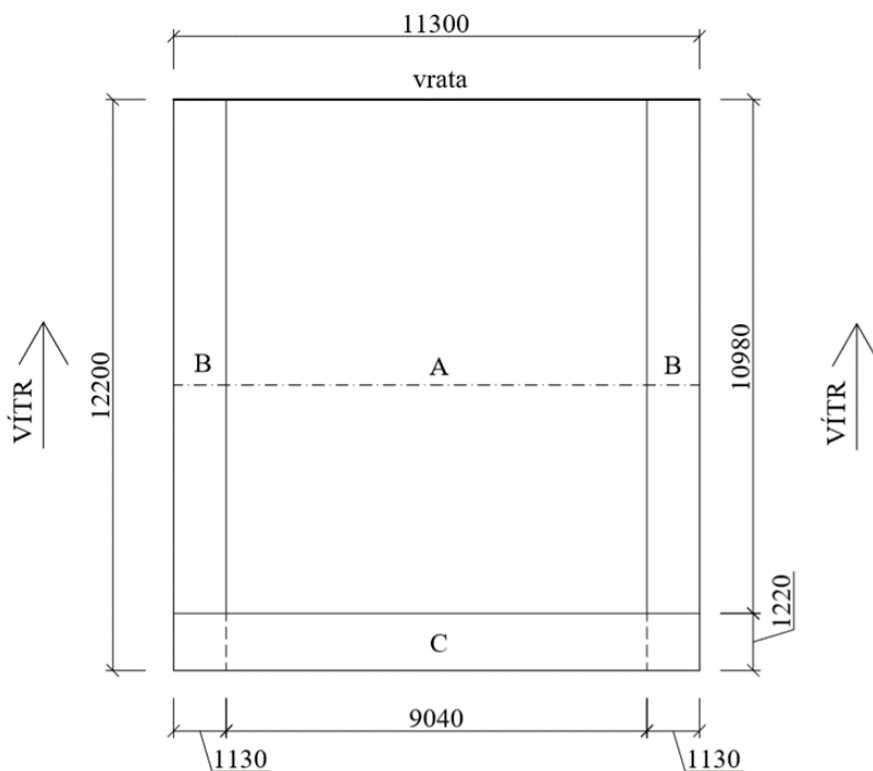


$c_{pe,10}^A$	-1,5
$c_{pe,10}^B$	-1,8
$c_{pe,10}^C$	-2,2

Tabulka 22 Výsledné tlaky větru na střešní plášť pro úhel $\theta = 90^\circ$ (bez vnitřního tlaku) $[kN/m^2]$

w_k^A	-0,970
w_k^B	-1,164
w_k^C	-1,423


$$w_k^i = q_p(z) \cdot c_{pe,10}$$



Obr. 21 Schéma zatížení - podélný vítr zepředu

2. Vítr podélný - zezadu

Pro výpočet byl vzat tlak větru od podtlaku na spodní hraně střechy způsobený podélným větrem v oblasti stěny E (viz Tabulka 24). Tlak byl uvažován na 1/2 pole. Na zbytku plochy krytého skladiště (přístřešku) bylo zavedeno tření q (viz. Obr. 22). Maximální charakteristický dynamický tlak $q_p(z)$ (viz vyšší pultová střecha).

Tabulka 23 Součinitele vnějšího tlaku pro úhel $\theta = 90^\circ$


$c_{pe,10}^A$	-1,2
$c_{pe,10}^B$	-0,8
$c_{pe,10}^C$	-0,5
$c_{pe,10}^D$	0,609
$c_{pe,10}^E$	-0,282

Tabulka 24 Výsledné tlaky větru na stěnu pro úhel $\theta = 90^\circ$ (bez vnitřního tlaku) [kN/m²]

w_k^A	-0,776
w_k^B	-0,517
w_k^C	-0,320
w_k^D	0,394
w_k^E	-0,182

$$w_k^i = q_p(z) \cdot c_{pe,10}$$

Tabulka 25 Součinitel tření c_{fr} pro stěny, zábradlí a povrchy střech

Povrch	Součinitel tření c_{fr}
Hladký (tj. ocel, hladký beton)	0,01
Hrubý (tj. drsný beton, asfaltový šindel)	0,02
Velmi hrubý (tj. vlnovky, žebra, drážky)	0,04

Součinitel tření:

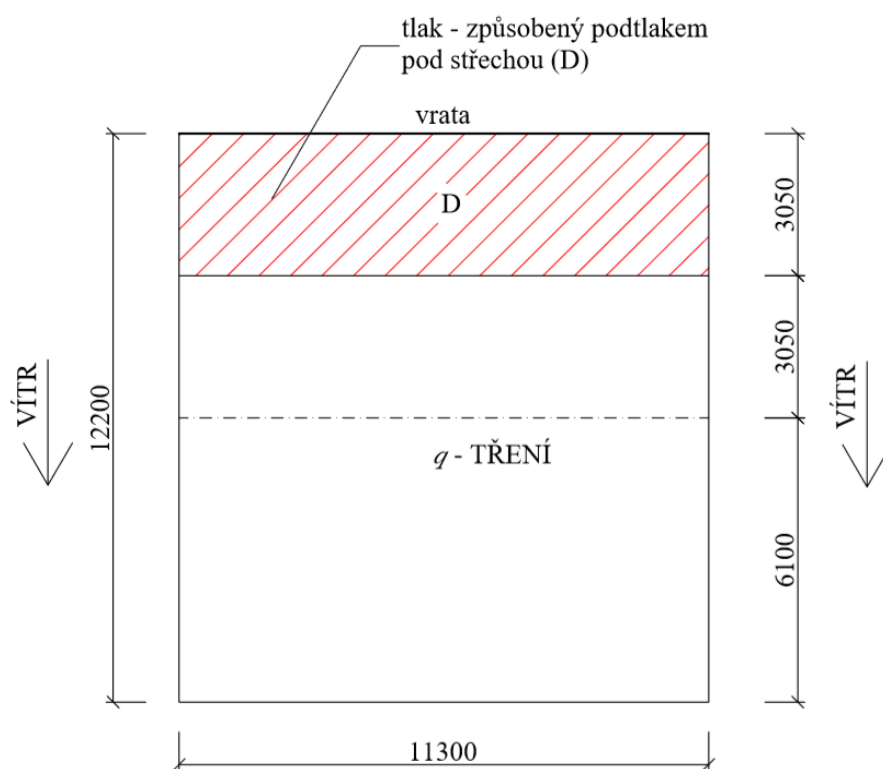
$$c_{fr} = 0,04$$

Charakteristický max. dyn. tlak:

$$q_p(z) = 0,647 \text{ kN/m}^2$$

Výsledné tření:

$$q = q_p(z) \cdot c_{fr} = 0,026 \text{ kN/m}^2$$



Obr. 22 Schéma zatížení - podélný vítr zezadu

3.4 Střešní plášť

Použité zdroje a literatura [17]

Střešní plášť byl navržen ze sendvičových střešních panelů s tepelnou izolací. U návrhu a posudku se vycházelo z únosnosti uvedené výrobcem vztažené k velikosti plošného zatížení střešní konstrukce. Uvedené únosnosti již zohledňují vlastní hmotnost střešních panelů. Střešní panely byly navrženy pro dvě kombinace zatěžovacích stavů.

Kombinace zatěžovacích stavů:

1. Kombinace:

nenavátý sníh po celé délce střechy	$s_k = 0,8 \text{ kN/m}^2$
příčný vítr	$w_k^{F+} = 0,026 \text{ kN/m}^2$
Zatížení celkem:	$f = 0,826 \text{ kN/m}^2$

2. Kombinace:

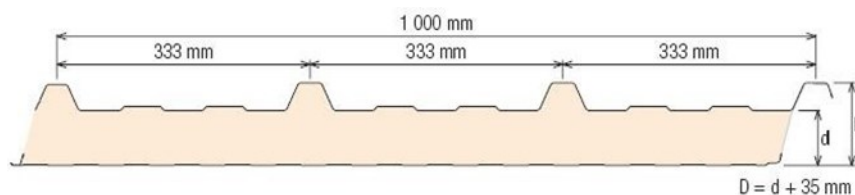
maximální hodnota sání od příčného větru	$w_k^{F-} = -1,513 \text{ kN/m}^2$
Zatížení celkem:	$f = -1,513 \text{ kN/m}^2$

→ Pro návrh střešního panelu je rozhodující kombinace číslo 2.

Byl navržen sendvičový střešní panel Kingspan KS1000 RW 40 (Tabulka 26).

Tabulka 26 Charakteristiky střešního panelu KS1000 RW 40

Systém	Spojité nosník o 3 a více polích
Skupina barev	I
Tabulka únosnosti f_k [kN/m^2]	2
Maximální rozpon L [m]	2,04



Obr. 23 Střešní panel KS1000 RW [17]

Podrobné podklady od výrobce pro návrh střešního panelu viz příloha č. 1.

Posouzení střešního panelu:

$$f = -1,513 \text{ kN/m}^2 \leq f_k = 2 \text{ kN/m}^2$$

Vyhovuje

3.5 Obvodový plášť

Použité zdroje a literatura [17]

U obvodových stěn byly navrženy paždíky ve vzdálenosti 2 m. Obvodový plášť byl navržen ze sendvičových stěnových panelů s tepelnou izolací. U návrhu a posudku se vycházelo z únosnosti uvedené výrobcem vztažené k velikosti plošného zatížení na obvodový plášť. Uvedené únosnosti již zohledňují vlastní hmotnost stěnových panelů. Stěnové panely byly navrženy pro dvě kombinace zatěžovacích stavů.

Kombinace zatěžovacích stavů:

1. Kombinace:

maximální hodnota příčného větru – tlak $w_k^D = 0,394 \text{ kN/m}^2$

2. Kombinace:

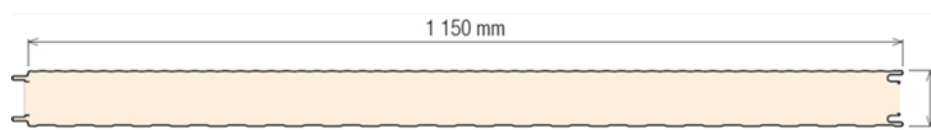
maximální hodnota příčného větru – sání $w_k^A = -0,776 \text{ kN/m}^2$

→ Pro návrh střešního panelu je rozhodující kombinace číslo 2.

Byl navržen sendvičový stěnový panel Kingspan KS1150 NF 40 (Tabulka 27).

Tabulka 27 Charakteristiky střešního panelu KS1150 NF 40

Systém	Spojité nosník o 3 a více polích
Skupina barev	I
Tabulka únosnosti f_k [kN/m^2]	1
Maximální rozpon L [m]	2,97



Obr. 24 Stěnový panel KS1150 NF [17]

Podrobné podklady od výrobce pro návrh stěnového panelu viz příloha č. 2.

Posouzení stěnového panelu:

$$w_k^A = -0,776 \text{ kN/m}^2 \leq f_k = 1 \text{ kN/m}^2$$

Vyhovuje

3.6 Tenkostěnná vaznice

Použité zdroje a literatura [18]

Na příčle se přes plechové botky uchytí tenkostěnné vaznice METSEC v rozteči 1,5 *m*. Byly aplikované jako spojité nosníky se spojkami. Na nižší střeše bylo potřeba vaznice zahustit v místě vzniku potenciální návěje. Ve vzdálenosti cca 4,5 *m* od úskoku na vyšší střechu byly postupně rozteče vaznic změněny z 1,5 *m* na cca 0,8 *m* u střední stěny.

Výpočet vaznic byl proveden pomocí programu Profilform Designer. Nejprve byly navrženy vaznice pro hlavní loď a vedlejší loď viz příloha č. 3 a následně vaznice pro kryté skladiště viz příloha č. 4.

Navržené vaznice:

hlavní loď a vedlejší loď - profil **172Z14**

kryté skladiště - profil **172Z20**

3.7 Hlavní nosník jeřábové dráhy

Použité zdroje a literatura [1, 2, 5, 6, 7, 8, 12]

Nosná konstrukce jeřábové dráhy přenáší zatížení mostového jeřábu, kolejnice, kočky a břemena. Je složena z hlavního nosníku, nárazníků a kolejnice, která je k hlavnímu nosníku jeřábové dráhy připevněna pomocí příchytů nebo svarů. Hlavní nosník byl uvažován jako 6 prostých nosníků o rozpětí 6,1 m.

3.7.1 Zatížení jeřábové dráhy

V hale se nachází jeden mostový jeřáb s požadovanou nosností 6,3 tun. Provoz jeřábu probíhá uvnitř hlavní lodě a krytého skladiště. Jeřáb může vyjíždět ven pouze za příznivých povětrnostních podmínek.

Vstupní parametry jeřábu pro výpočet

Jeřáb 6,3t/ 10m

Rozpětí jeřábu	$l_m = 10 \text{ m}$
Rozvor kol	$a = 2,2 \text{ m}$
Dojezd háku kočky	$e_{min} = 0,66 \text{ m}$
Nosnost	$v_b = 6,3 \text{ t}$
Hmotnost jeřábu bez kočky	$m_j = 2,033 \text{ t}$
Hmotnost kočky	$m_k = 0,91 \text{ t}$
Rychlost zdvihu břemene	$v_h = 0,083 \text{ m/s}$
Počet dvojic kol	$n = 2 \text{ ks}$

Zatížení od jeřábu

Zatížení způsobená jeřáby jsou uvažována jako proměnná, lze je rozdělit na:

a) Proměnná

svislá - tvořená tíhou kladkostroje a vlastní tíhou jeřábu

vodorovná - způsobená přičlením jeřábu, bržděním nebo rozjížděním jeřábu a kočky

b) Mimořádná

náraz jeřábu na nárazníky

klopné síly - střet prostředků pro uchopení břemene s překážkou

Do výpočtu se zavádí dynamické účinky pomocí dynamických součinitelů.

Tabulka 28 Druhy dynamických součinitelů [5]

Dynamický součinitel	Uvažované účinky	Použije se pro
φ_1	– buzení vibrací konstrukce jeřábu při zvednutí zatížení kladkostroje ze země	vlastní tíhu jeřábu
φ_2 nebo φ_3	– dynamické účinky zatížení kladkostroje při zvedání ze země k jeřábu – dynamický účinek náhlého uvolnění užitečného zatížení, jestliže jsou použity např. drapáky nebo magnety	zatížení kladkostroje
φ_4	– dynamické účinky, vznikající při pojezdu na kolejích nebo jeřábových drahách	vlastní tíhu jeřábu a zatížení kladkostroje
φ_5	– dynamické účinky vyvolané hnacími silami	hnací síly
φ_6	– dynamické účinky zkušebního zatížení, které se pohybuje po dráze jeřábu pomocí pohonů	zkušební zatížení
φ_7	– dynamický pružný účinek nárazu na nárazníky	síly na nárazníky

Tabulka 29 Druhy dynamických součinitelů pro svislá zatížení [5]

φ_1	$0,9 < \varphi_1 < 1,1$ Dvě hodnoty, $\varphi_1 = 1,1$ a $\varphi_1 = 0,9$, vyjadřují horní a dolní hodnoty rázového zatížení.
φ_2	$\varphi_2 = \varphi_{2,\min} + \beta_2 v_h$ v_h je ustálená rychlost zvedání v [m/s]; $\varphi_{2,\min}$ a β_2 jsou v tabulce 2.5.
φ_3	$\varphi_3 = 1 - \frac{\Delta m}{m} (1 + \beta_3)$ kde Δm je uvolněná nebo upuštěná část hmotnosti zvedané kladkostrojem; m celková hmotnost zvedaná kladkostrojem; $\beta_3 = 0,5$ pro jeřáby s drapáky nebo podobnými zařízeními pro pomalé uvolnění; $\beta_3 = 1,0$ pro jeřáby osazené magnety nebo podobnými zařízeními pro rychlé uvolnění.
φ_4	$\varphi_4 = 1,0$ za předpokladu, že jsou dodrženy tolerance kolejových tratí podle EN 1993-6.
POZNÁMKA Pokud nejsou dodrženy tolerance kolejových tratí podle EN 1993-6, dynamický součinitel φ_4 může být stanoven podle modelu uvedeného v EN 13001-2.	

Jedná se o montážní jeřáb, který spadá do kategorie HC1, HC2.

Tabulka 30 Hodnoty β_2 a $\varphi_{2,\min}$ [5]

Třída zvedacích zařízení	β_2	$\varphi_{2,\min}$
HC1	0,17	1,05
HC2	0,34	1,10
HC3	0,51	1,15
HC4	0,68	1,20
POZNÁMKA Aby byly uváženy dynamické účinky při přemístění břemene ze země na jeřáb, jsou jeřáby zařazeny do tříd zdvihadel HC1 až HC4. Výběr závisí na konkrétním typu jeřábu, viz doporučení v příloze B		

Výpočet dynamických součinitelů

$\beta_2 = 0,34 \rightarrow$ třída zvedacího zařízení HC2

$\varphi_{2,min} = 1,10 \rightarrow$ třída zvedacího zařízení HC2

$$\varphi_2 = \varphi_{2,min} + \beta_2 \cdot v_h = 1,10 + 0,34 \cdot 0,083 = 1,128$$

$\varphi_3 = 1,0 \rightarrow$ háky

$\varphi_5 = 1,5 \rightarrow$ systémy, kde se síly mění pozvolna

Tabulka 31 Součinitelé dynamických účinků

$\varphi_{1,max} = 1,1$	$\varphi_{1,min} = 0,9$	$\varphi_2 = 1,128$	$\varphi_3 = 1,0$	$\varphi_4 = 1,10$	$\varphi_5 = 1,5$
-------------------------	-------------------------	---------------------	-------------------	--------------------	-------------------

Svislé zatížení

Tlak kola jeřábu bez kočky

$$Q_{c,k} = \frac{20,330}{4} = 5,083 \text{ kN}$$

Zatížení kladkostroje

Tíha kočky a břemene

$$Q_{kočka+břemeno} = 9,10 + 63 = 72,10 \text{ kN}$$

Na více zatíženou větev

$$\sum Q_{H,max} = \frac{72,10 \cdot 9,34}{10} = 67,341 \text{ kN}$$

Na jedno kolo

$$Q_{H,max} = \frac{67,341}{2} = 33,671 \text{ kN}$$

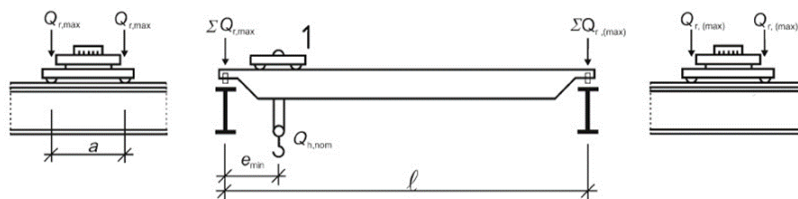
Tíha kočky

$$Q_{kočka} = 9,10 \text{ kN}$$

Na méně zatíženou větev

$$\sum Q_{H,min} = \frac{9,10 \cdot 0,66}{10} = 0,601 \text{ kN}$$

Maximální svislé zatížení



Obr. 25 Ilustrativní obrázek [5] - Maximální svislé zatížení

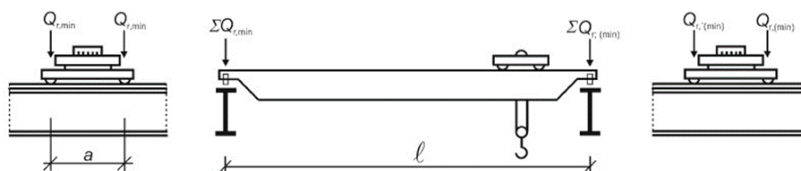
Maximální zatížení vyvolané zatíženým jeřábem na jednu větev jeřábové dráhy

$$\Sigma Q_{r,max} = 2 \cdot Q_{c,k} + \Sigma Q_{H,max} = 2 \cdot 5,083 + 67,341 = 77,506 \text{ kN}$$

Doprovodné zatížení vyvolané zatíženým jeřábem na jednu větev jeřábové dráhy

$$\Sigma Q_{r,(max)} = 2 \cdot 5,083 + (72,10 - 67,341) = 14,924 \text{ kN}$$

Minimální svislé zatížení



Obr. 26 Ilustrativní obrázek [5] - Minimální svislé zatížení

Minimální zatížení vyvolané nezatíženým jeřábem na jednu větev jeřábové dráhy

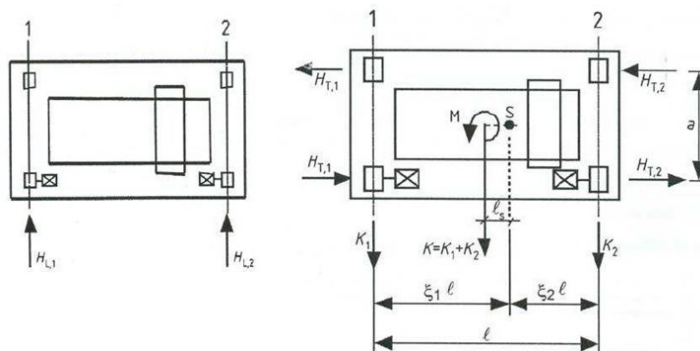
$$\Sigma Q_{r,min} = 2 \cdot Q_{c,k} + \Sigma Q_{H,mix} = 2 \cdot 5,083 + 0,601 = 10,766 \text{ kN}$$

Doprovodné zatížení vyvolané nezatíženým jeřábem na jednu větev jeřábové dráhy

$$\Sigma Q_{r,(min)} = 2 \cdot 5,083 + (9,10 - 0,601) = 18,664 \text{ kN}$$

Vodorovné zatížení

Vodorovné síly od zrychlení a zpomalení mostového jeřábu H_L , H_T



Obr. 27 Ilustrativní obrázek [5] - Vodorovné síly H_L , H_T

Hnací síla K , je dána vzorcem:

$$K = \mu \cdot m_w \cdot Q_{r,min} [kN]$$

kde $\mu [-]$ je součinitel tření, pro tření mezi povrchy ocel - ocel nabývá hodnoty 0,2

$m_w [ks]$ počet pohonů jednotlivých kol

$$K = \mu \cdot m_w \cdot Q_{r,min} = 0,2 \cdot 2 \cdot \frac{10,766}{2} = 2,153 \text{ kN}$$

Síly v podélném směru H_L

Síly v podélném směru jsou způsobeny zrychlením nebo zpomalením jeřábu, jsou stanoveny vzorcem:

$$H_{L,i} = \varphi_5 \cdot K \cdot \frac{1}{n_r} [kN]$$

kde $\varphi_5 [-]$ je dynamický součinitel vyvolaný hnacími účinky

$K [kN]$ hnací síly

$n_r [-]$ počet nosníků jeřábové dráhy

$$H_{L,i} = \varphi_5 \cdot K \cdot \frac{1}{n_r} = 1,5 \cdot 2,153 \cdot \frac{1}{2} = 1,615 \text{ kN}$$

Síly v příčném směru H_T

Působením hnací síly vznikl moment M , který je těmito silami držen v rovnováze.

$$H_{T,1,k} = \varphi_5 \cdot \xi_2 \cdot \frac{M}{a}$$

$$H_{T,2,k} = \varphi_5 \cdot \xi_1 \cdot \frac{M}{a}$$

kde $\varphi_5 [-]$ je dynamický součinitel vyvolaný hnacími účinky

$a [-]$ vzdálenost vodících kladek nebo kol s nákolky

$M [kNm]$ moment vyvolaný hnací silou

$$\xi_1 = \frac{\sum Q_{r,max}}{\sum Q_{r,max} + \sum Q_{r,(max)}} = \frac{77,506}{77,506 + 14,924} = 0,839$$

$$\xi_2 = 1 - \xi_1 = 1 - 0,839 = 0,161$$

$$l_s = (\xi_1 - 0,5) \cdot l = (0,839 - 0,5) \cdot 10 = 3,385 \text{ m}$$

$$M = K \cdot l_s = 2,153 \cdot 3,39 = 7,289 \text{ kNm}$$

$$H_{T,1,k} = \varphi_5 \cdot \xi_2 \cdot \frac{M}{a} = 1,5 \cdot 0,161 \cdot \frac{7,298}{2,2} = 0,802$$

$$H_{T,2,k} = \varphi_5 \cdot \xi_1 \cdot \frac{M}{a} = 1,5 \cdot 0,839 \cdot \frac{7,298}{2,2} = 4,167$$

Vodorovné síly H_S a síla na vedení S , způsobené přičením

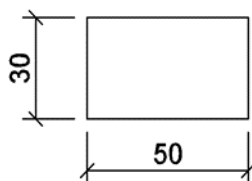
Úhel přičení α má být zvolen podle mezery mezi vodícími prostředky a odchylky rozměrů a opotřebení, lze jej stanovit:

$$\alpha = \alpha_F + \alpha_v + \alpha_0 \leq 0,015 \text{ rad}$$

Tabulka 32 Úhel přičení [5]

Úhly α_i	Minimální hodnoty α_i
$\alpha_F = \frac{0,75 x}{a_{\text{ext}}}$	$0,75x \geq 5 \text{ mm}$ pro vodící kladky
	$0,75x \geq 10 \text{ mm}$ pro nákolky kol
$\alpha_v = \frac{y}{a_{\text{ext}}}$	$y \geq 0,03b \text{ [mm]}$ pro vodící kladky
	$y \geq 0,10b \text{ [mm]}$ pro nákolky kol
α_0	$\alpha_0 = 0,001$
Kde a_{ext} je mezera mezi vodícími kladkami nebo nákolky kol; b šířka hlavy kolejnice; x vůle mezi kolejnicí a vodícími prostředky (příčný prokluz); y opotřebení kolejnice a vodících prostředků; α_0 tolerance směru kol a kolejnic.	

Pro mostový jeřáb s nosností 6,3 t byla navržena kolejnice profilu 50x30 mm.



Obr. 28 Kolejnice

$b_r = 50 \text{ mm} \rightarrow$ šířka hlavy kolejnice

$a = 2,2 \text{ m}$

$x = 15 \text{ mm} \rightarrow$ vůle mezi vodícími prostředky

$$\alpha = \alpha_F + \alpha_v + \alpha_0 = \frac{0,75 \cdot x}{a} + \frac{y}{a} + 0,001 = \frac{0,75 \cdot 0,015}{2,2} + \frac{0,1 \cdot 0,050}{2,2} + 0,001 = 0,0084$$

$$\alpha = 0,0084 \leq 0,015 \text{ rad}$$

Součinitel reakcí příčeni je dán vztahem:

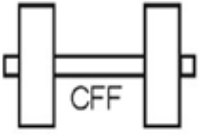
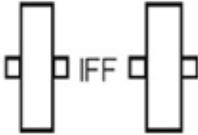
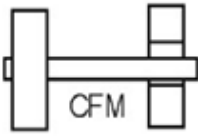
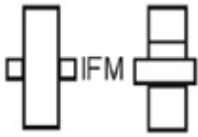
$$f = 0,3 \cdot (1 - e^{-250\alpha}) \leq 0,3$$

kde α [rad] je úhel příčeni

$$f = 0,3 \cdot (1 - e^{-250\alpha}) = 0,3 \cdot (1 - e^{-250 \cdot 0,0084}) = 0,263 \leq 0,3$$

Vzdálenost h mezi okamžitým středem otáčení a příslušnými vodícími prvky.

Tabulka 33 Vzdaľenost h [5]

Uložení kol vzhledem k bočnim pohybům	Kombinace dvojic kol		h
	spojená (c)	nezávislá (i)	
Pevný/Pevný FF			$\frac{m \xi_1 \xi_2 \ell^2 + \sum e_j^2}{\sum e_j}$
Pevný/Pohyblivý FM			$\frac{m \xi_1 \ell^2 + \sum e_j^2}{\sum e_j}$
<p>Kde h je vzdálenost mezi okamžitým středem otáčení a příslušnými vodícími prostředky; m počet spojených dvojic kol ($m = 0$ pro nezávislé dvojice kol); $\xi_1 \ell$ vzdálenost okamžitého středu otáčení od kolejniče 1; $\xi_2 \ell$ vzdálenost okamžitého středu otáčení od kolejniče 2; ℓ rozpětí zařízení; e_j vzdálenost dvojice kol j od příslušných vodících prostředků.</p>			

$m = 0 \rightarrow$ nezávislá dvojice kol

$$e_j = 2,2 \text{ m}$$

$$h = \frac{m \cdot \xi_1 \cdot \xi_2 \cdot \ell^2 + \sum e_j^2}{\sum e_j} = \frac{0 + 2,2^2}{2,2} = 2,2 \text{ m}$$

Součinitelé síly λ [-] závisí na vzdálenosti na kombinaci kol.

Tabulka 34 Hodnoty λ [5]

Systém	$\lambda_{S,j}$	$\lambda_{S,1,j,L}$	$\lambda_{S,1,j,T}$	$\lambda_{S,2,j,L}$	$\lambda_{S,2,j,T}$
CFF	$1 - \frac{\Sigma e_j}{nh}$	$\frac{\xi_1 \xi_2 \ell}{n h}$	$\frac{\xi_2}{n} \left(1 - \frac{e_j}{h}\right)$	$\frac{\xi_1 \xi_2 \ell}{n h}$	$\frac{\xi_1}{n} \left(1 - \frac{e_j}{h}\right)$
IFF		0	$\frac{\xi_2}{n} \left(1 - \frac{e_j}{h}\right)$	0	$\frac{\xi_1}{n} \left(1 - \frac{e_j}{h}\right)$
CFM	$\xi_2 \left(1 - \frac{\Sigma e_j}{nh}\right)$	$\frac{\xi_1 \xi_2 \ell}{n h}$	$\frac{\xi_2}{n} \left(1 - \frac{e_j}{h}\right)$	$\frac{\xi_1 \xi_2 \ell}{n h}$	0
IFM		0	$\frac{\xi_2}{n} \left(1 - \frac{e_j}{h}\right)$	0	0

Kde n je počet dvojic kol;

$\xi_1 \ell$ vzdálenost okamžitého středu otáčení od kolejnice 1;

$\xi_2 \ell$ vzdálenost okamžitého středu otáčení od kolejnice 2;

ℓ rozpětí zařízení;

e_j vzdálenost dvojice kol j od příslušných vodících prostředků;

h vzdálenost mezi okamžitým středem otáčení a příslušnými vodícími prostředky.

$$e_j = 2,2 \text{ m}$$

$$n = 2$$

$$\lambda_{S,j} = 1 - \frac{\sum e_j}{n \cdot h} = 1 - \frac{2,2}{2 \cdot 2,2} = 0,5$$

$$\lambda_{S,1,1,L} = \lambda_{S,1,2,L} = \lambda_{S,2,1,L} = \lambda_{S,2,2,L} = 0$$

$$\lambda_{S,1,1,T} = \frac{\xi_2}{n} \cdot \left(1 - \frac{e_1}{h}\right) = \frac{0,161}{2} \cdot \left(1 - \frac{0}{2,2}\right) = 0,081$$

$$\lambda_{S,1,2,T} = \frac{\xi_2}{n} \cdot \left(1 - \frac{e_2}{h}\right) = \frac{0,161}{2} \cdot \left(1 - \frac{2,2}{2,2}\right) = 0$$

$$\lambda_{S,2,1,T} = \frac{\xi_1}{n} \cdot \left(1 - \frac{e_1}{h}\right) = \frac{0,839}{2} \cdot \left(1 - \frac{0}{2,2}\right) = 0,419$$

$$\lambda_{S,2,2,T} = \frac{\xi_1}{n} \cdot \left(1 - \frac{e_2}{h}\right) = \frac{0,839}{2} \cdot \left(1 - \frac{2,2}{2,2}\right) = 0$$

Síla na vedení S [kN] se stanoví dle rovnice:

$$S = f \cdot \lambda_S \cdot \sum Q_r$$

kde $f[-]$ je součinitel reakcí přičení

 $\lambda_s [-]$ součinitel síly

$$\sum Q_r = \sum Q_{r,max} + \sum Q_{r,(max)} = 77,506 + 14,924 = 92,430 \text{ kN}$$

$$S = f \cdot \lambda_s \cdot \sum Q_r = 0,263 \cdot 0,5 \cdot 92,430 = 12,161 \text{ kN}$$

Vodorovné síly H_s

$$H_{S,2,2,L} = H_{S,2,1,L} = H_{S,1,2,L} = H_{S,1,1,L} = f \cdot \lambda_{S,1,1,L} \cdot \sum Q_r = 0 \text{ kN}$$

$$H_{S,1,1,T} = f \cdot \lambda_{S,1,1,T} \cdot \sum Q_r = 0,263 \cdot 0,081 \cdot 92,430 = 1,963 \text{ kN}$$

$$H_{S,2,1,T} = f \cdot \lambda_{S,2,1,T} \cdot \sum Q_r = 0,263 \cdot 0,419 \cdot 92,430 = 10,197 \text{ kN}$$

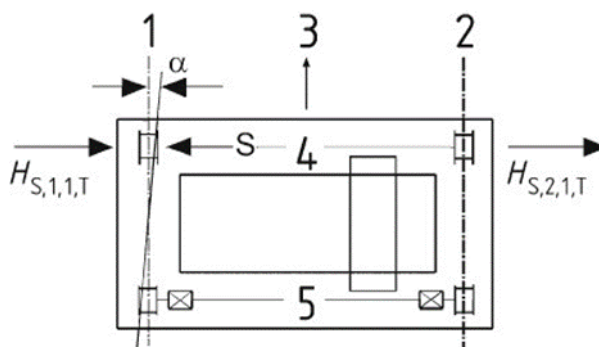
$$H_{S,1,2,T} = H_{S,2,2,T} = f \cdot \lambda_{S,2,2,T} \cdot \sum Q_r = 0 \text{ kN}$$

Výsledné síly působící na nosníky jeřábové dráhy

Vedení pomocí nákolků

$$H_{S,1,1,T,k} = S - H_{S,1,1,T} = 12,161 - 1,963 = 10,197 \text{ kN}$$

$$H_{S,2,1,T,k} = H_{S,2,1,T} = 10,197 \text{ kN}$$



Obr. 29 Ilustrativní obrázek [5]- Příčení

Vodorovné síly H_T od zrychlení nebo zpomalení kočky

$$H_{T3} = 0,1 \cdot 72,10 = 7,21 \text{ kN} \quad (10\% \text{ ze svislých sil})$$

$$H_{T3,1,k} = \frac{7,21}{2} \cdot \frac{9,34}{10} = 3,367 \text{ kN}$$

$$H_{T3,2,k} = \frac{7,21}{2} \cdot \frac{0,66}{10} = 0,238 \text{ kN}$$

Rekapitulace zatížení působících na jeřábovou dráhu

Skupiny zatížení byly stanoveny tabulkou, kde ze skupin 1 až 4 byla skupina zatížení 1 vyhodnocena jako nejnepříznivější (největší hodnoty dynamických součinitelů) a tudíž byla použita pro posudek jeřábové dráhy. Dále byly vzaty v úvahu skupiny zatížení 5 a 6, protože v nich byly uvažovány síly od přičení jeřábu nebo pojezdu kočky.

Tabulka 35 Skupiny zatížení a dynamických součinitelů

		Značka	Kapitola	Skupina zatížení									
				Mezní stav únosnosti							Zkušební zatížení	Mimořádná	
				1	2	3	4	5	6	7		9	10
1	Vlastní tíha jeřábu	Q_C	2.6	φ_1	φ_1	1	φ_4	φ_4	φ_4	1	φ_1	1	1
2	Zatížení kladkostroje	Q_H	2.6	φ_2	φ_3	-	φ_4	φ_4	φ_4	$\eta^{1)}$	-	1	1
3	Zrychlení mostu jeřábu	H_L, H_T	2.7	φ_5	φ_5	φ_5	φ_5	-	-	-	φ_5	-	-
4	Přičení mostu jeřábu	H_S	2.7	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-
5	Zrychlení nebo brzdění kočky nebo pojízdného kladkostroje	H_{T3}	2.7	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-
6	Vitr při provozu	F_W^*	Příloha A	1	1	1	1	1	-	-	1	-	-
7	Zkušební zatížení	Q_T	2.10	-	-	-	-	-	-	-	φ_6	-	-
8	Síly na nárazník	H_B	2.11	-	-	-	-	-	-	-	-	φ_7	-
9	Klopné síly	H_{TA}	2.11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1
POZNÁMKA Vitr při provozu – viz příloha A.													
¹⁾ η je část zatížení kladkostroje, která zůstává, když je odstraněno užitečné zatížení, ale není zahrnuta do vlastní tíhy jeřábu.													

Skupina zatížení 1

Svislé zatížení

$$Q_{r,k} = \varphi_1 \cdot Q_{C,k} + \varphi_2 \cdot Q_{H,k} = 1,1 \cdot 5,083 + 1,128 \cdot 33,671 = 43,582 \text{ kN}$$

$$Q_{r,d} = \gamma_{Gsup} \cdot \varphi_1 \cdot Q_{C,k} + \gamma_{Qsup} \cdot \varphi_2 \cdot Q_{H,k} = 1,35 \cdot 43,582 = 58,836 \text{ kN}$$

Vodorovné příčné zatížení způsobené zrychlením nebo zpomalením jeřábu

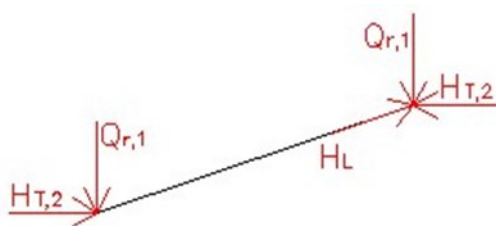
$$H_{T,2,k} = 4,167 \text{ kN}$$

$$H_{T,2,d} = \gamma_{Qsup} \cdot H_{T,2,k} = 5,626 \text{ kN}$$

Vodorovné podélné zatížení způsobené zrychlením nebo zpomalením jeřábu

$$H_{L,k} = 1,615 \text{ kN}$$

$$H_{L,d} = \gamma_{Qsup} \cdot H_{L,k} = 1,35 \cdot 1,615 = 2,180 \text{ kN}$$



Obr. 30 Skupina zatížení 1

Skupina zatížení 5

Svislé zatížení

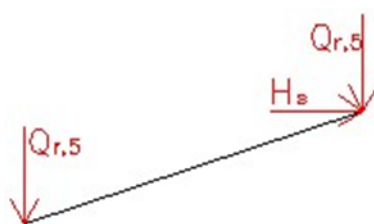
$$Q_{r,k} = \varphi_4 \cdot Q_{C,k} + \varphi_4 \cdot Q_{H,k} = 1,0 \cdot 5,083 + 1,0 \cdot 33,671 = 38,753 \text{ kN}$$

$$Q_{r,d} = \gamma_{Gsup} \cdot \varphi_4 \cdot Q_{C,k} + \gamma_{Qsup} \cdot \varphi_4 \cdot Q_{H,k} = 1,35 \cdot 38,753 = 52,317 \text{ kN}$$

Vodorovné příčné zatížení způsobené přičením

$$H_{S,k} = H_{S,2,1,T,k} = H_{S,1,1,T,k} = 10,197 \text{ kN}$$

$$H_{S,d} = \gamma_{Qsup} \cdot H_{S,k} = 1,35 \cdot 10,197 = 13,767 \text{ kN}$$



Obr. 31 Skupina zatížení 5

Skupina zatížení 6

Svislé zatížení

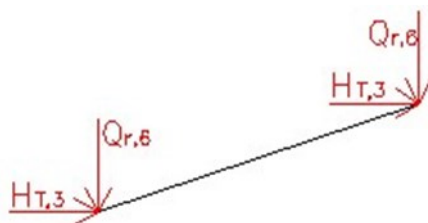
$$Q_{r,k} = \varphi_4 \cdot Q_{C,k} + \varphi_4 \cdot Q_{H,k} = 1,0 \cdot 5,083 + 1,0 \cdot 33,671 = 38,753 \text{ kN}$$

$$Q_{r,d} = \gamma_{Gsup} \cdot \varphi_4 \cdot Q_{C,k} + \gamma_{Qsup} \cdot \varphi_4 \cdot Q_{H,k} = 1,35 \cdot 38,753 = 52,317 \text{ kN}$$

Vodorovné příčné zatížení od zrychlení nebo zpomalení kočky

$$H_{T,3,k} = H_{T,3,1,k} = 3,367 \text{ kN}$$

$$H_{T,3,d} = \gamma_{Qsup} \cdot H_{T,3,k} = 1,35 \cdot 3,367 = 4,546 \text{ kN}$$



Obr. 32 Skupina zatížení 6

3.7.2 Výpočet vnitřních sil

Vnitřní síly - svislé zatížení

Vnitřní síly od působení jeřábu

$$F_1 = Q_{r,d} = 58,836 \text{ kN} \rightarrow \text{skupina zatížení č. 1}$$

$$F_2 = Q_{r,d} = 52,317 \text{ kN} \rightarrow \text{skupina zatížení č. 5}$$

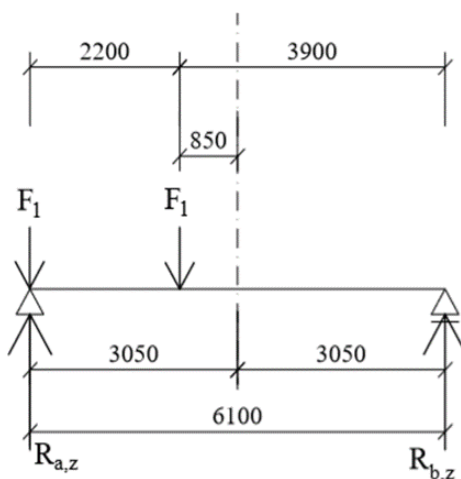
$$F_3 = Q_{r,d} = 52,317 \text{ kN} \rightarrow \text{skupina zatížení č. 6}$$

Postavení sil pro V_{max}

Nejnepříznivější poloha vznikne umístěním, kde je první síla umístěná v podpoře.

$$R_{a,z} = \frac{F_1 \cdot 6,1 + F_1 \cdot 3,9}{6,1} = \frac{58,836 \cdot 6,1 + 58,836 \cdot 3,9}{6,1} = 96,452 \text{ kN} = V_{1,Ed,z}$$

$$R_{b,z} = 2 \cdot F_1 - R_{a,z} = 2 \cdot 58,836 - 96,452 = 21,22 \text{ kN}$$



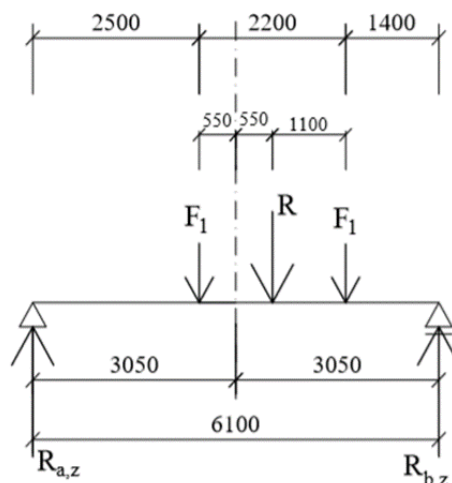
Obr. 33 Postavení sil V_{max}

Postavení pro M_{max}

Největší moment na prostém nosníku vznikne v případě, kdy střed nosníku pólí vzdálenost mezi výslednicí sil a první síly.

$$R_{a,z} = \frac{2 \cdot F_1 \cdot (1,100 + 1,400)}{6,1} = \frac{2 \cdot 58,836 \cdot (1,100 + 1,400)}{6,1} = 48,226 \text{ kN}$$

$$M_{1,Ed,y} = R_{a,z} \cdot 2,500 = 48,226 \cdot 2,500 = 120,566 \text{ kNm}$$



Obr. 34 Postavení sil M_{max}

Stejným způsobem byly dopočítány vnitřní síly pro skupiny zatížení č. 5 a 6. Veškeré vnitřní síly jsou zobrazeny v tabulce 36.

Tabulka 36 Přehled vnitřních sil od svislého zatížení

Vnitřní síla	Skupina zatížení		
	1	5	6
$R_{a,z} [kN]$	96,45	85,77	85,77
$R_{b,z} [kN]$	21,22	18,87	18,87
$V_{i,Ed,z} [kN]$	96,45	85,77	85,77
$M_{i,Ed,y} [kNm]$	120,57	107,21	107,21

Vnitřní síly od vlastní tíhy jeřábové dráhy

Kolejnice jeřábové dráhy $g_{1,k} = 0,117 \text{ kN/m}$

Hlavní nosník jeřábové dráhy $g_{2,k} = 0,883 \text{ kN/m}$

Celkové zatížení stálé

$$g_d = (g_{1,k} + g_{2,k}) \cdot \gamma_G = (0,117 + 0,883) \cdot 1,35 = 1,350 \text{ kN/m}$$

Vnitřní síly na prostém nosníku zatíženým spojitým zatížením byly spočítány následovně:

$$V_{g,Ed,z} = \frac{g_d \cdot l}{2} = \frac{1,350 \cdot 6,1}{2} = 4,118 \text{ kN}$$

$$M_{g,Ed,y} = \frac{g_d \cdot l^2}{8} = \frac{1,350 \cdot 6,1^2}{8} = 6,279 \text{ kN}$$

Výsledné vnitřní síly od svislého zatížení

$$V_{1,c,Ed,z} = V_{1,Ed,z} + V_{g,Ed,z} = 96,452 + 4,118 = 100,57 \text{ kN}$$

$$M_{1,c,Ed,z} = M_{1,Ed,y} + M_{g,Ed,y} = 120,566 + 6,279 = 126,845 \text{ kN}$$

Pro zatěžovací skupiny č. 5 a 6 byly výsledné síly spočítány stejným způsobem, jejich výsledné hodnoty jsou uvedeny v tabulce 37.

Tabulka 37 Přehled výsledných vnitřních sil od svislého zatížení

Vnitřní síla	Skupina zatížení		
	1	2	3
$V_{i,c,Ed,z} [\text{kN}]$	100,57	89,88	89,88
$M_{i,c,Ed,z} [\text{kNm}]$	126,85	113,49	113,49

Vnitřní síly - vodorovné zatížení

Zrychlení mostu jeřábu

Zrychlení mostu jeřábu vyvoluje jak podélné namáhání $H_{L,i}$, tak příčné namáhání $H_{T,i}$, hlavního jeřábového nosníku.

Podélné síly

$$R_{a,y} = H_{L,d} = 2,180 \text{ kN}$$

$$z = h_{kolejnice} + h_{nosník} = 30 + 290 = 320 \text{ mm}$$

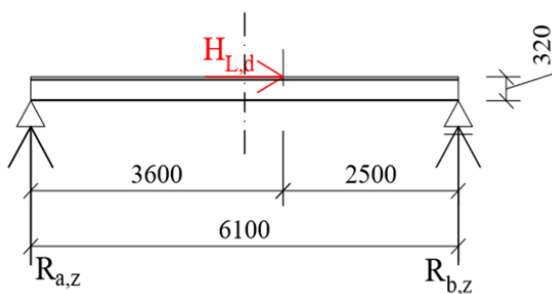
$$R_{a,z} = \frac{H_{L,d} \cdot z}{L} = \frac{2,180 \cdot 0,320}{6,1} = 0,114 \text{ kN}$$

$$R_{b,z} = -R_{a,z} = -0,114 \text{ kN}$$

$$N_{L,Ed} = R_{a,y} = 2,18 \text{ kN}$$

$$V_{L,Ed,z} = 0,114 \text{ kN}$$

$$M_{L,Ed,y} = R_{a,z} \cdot 3,6 = 0,114 \cdot 3,6 = 0,410 \text{ kNm}$$



Obr. 35 Podélné namáhání od zrychlení jeřábu

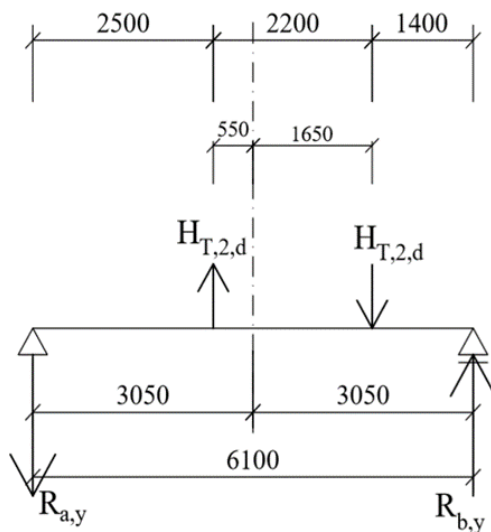
Příčné síly

$$H_{T,2,d} = 5,626 \text{ kN}$$

$$R_{a,y} = -R_{b,y} = \frac{H_{T,2,d} \cdot 3,600 - H_{T,2,d} \cdot 1,400}{6,1} = \frac{5,626 \cdot 3,600 - 5,626 \cdot 1,400}{6,1} = 2,029 \text{ kN}$$

$$V_{H,T,Ed,y} = R_{a,y} = 2,029 \text{ kN}$$

$$M_{H_{T,2},Ed} = R_{a,y} \cdot 2,500 = 2,029 \cdot 2,500 = 5,073 \text{ kNm}$$



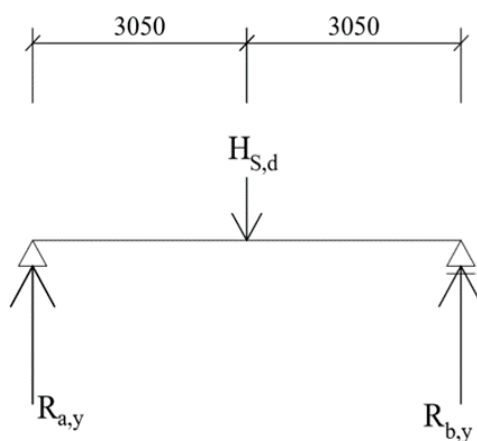
Obr. 36 Příčné namáhání od zrychlení jeřábu

Příčení mostu jeřábu

$$H_{S,2,1,T,d} = 13,767 \text{ kN}$$

$$V_{S,Ed,y} = \frac{H_{S,2,1,T,d}}{2} = \frac{13,767}{2} = 6,884 \text{ kN}$$

$$M_{S,Ed,z} = \frac{H_{S,2,1,T,d} \cdot L}{4} = \frac{13,767 \cdot 6,1}{4} = 20,995 \text{ kN}$$



Obr. 37 Příčné namáhání od přičení mostu jeřábu

Zrychlení kočky

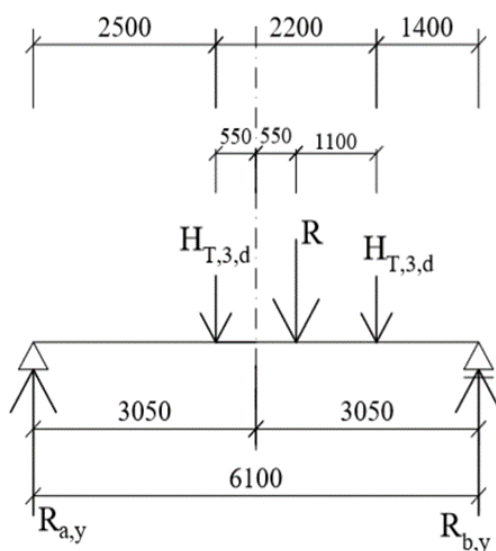
$$H_{T,3,d} = 4,546 \text{ kN}$$

$$R_{a,y} = \frac{2 \cdot H_{T,3,d} \cdot (1,100 + 1,400)}{6,1} = \frac{2 \cdot 4,546 \cdot (1,100 + 1,400)}{6,1} = 3,726 \text{ kN}$$

$$R_{b,y} = -R_{a,y} + 2 \cdot H_{T,3,d} = -3,726 + 2 \cdot 4,546 = 5,366 \text{ kN}$$

$$V_{T3,Ed,y} = R_{b,y} = 5,366 \text{ kN}$$

$$M_{T3,Ed,z} = R_{a,y} \cdot 2,500 = 3,726 \cdot 2,500 = 9,315 \text{ kNm}$$



Obr. 38 Příčné namáhání od zrychlení kočky

Hodnoty návrhových hodnot zatížení

Veškeré vnitřní síly potřebné k dosazení do uvažovaných skupin zatížení byly vypočteny. V následujících tabulkách bylo do těchto skupin dosazeno a následně byly získány výsledné návrhové hodnoty zatížení. Tabulka 38 znázorňuje vnitřní síly od svislého zatížení a tabulka 39 od vodorovného zatížení.

Tabulka 38 Výsledné vnitřní síly od svislého zatížení

Výsledné posouvající síly ve svislém směru $V_{i,z}$ [kN]				
Zatížení	Značka	Skupina zatížení		
		Mezní stav únosnosti		
		1	5	6
Vlastní tíha jeřábu a zatížení kladkostroje	$Q_C + Q_H$	100,57	89,88	89,88
Zrychlení mostu jeřábu	H_L, H_T	0,12	-	-
Příčení mostu jeřábu	H_S, S	-	0	-
Zrychlení kočky	H_{T3}	-	-	0
Síly na nárazník	H_B	-	-	-
Celkem		100,69	89,88	89,88
Výsledné ohybové momenty v ose y $M_{i,y}$ [kNm]				
Zatížení	Značka	Skupina zatížení		
		Mezní stav únosnosti		
		1	5	6
Vlastní tíha jeřábu a zatížení kladkostroje	$Q_C + Q_H$	126,85	113,49	113,49
Zrychlení mostu jeřábu	H_L, H_T	0,41	-	-
Příčení mostu jeřábu	H_S, S	-	0	-
Zrychlení kočky	H_{T3}	-	-	0
Síly na nárazník	H_B	-	-	-
Celkem		127,26	113,49	113,49

Tabulka 39 Výsledné vnitřní síly od vodorovného zatížení

Výsledné posouvající síly ve vodorovném směru $V_{i,y}$ [kN]				
Zatížení	Značka	Skupina zatížení		
		Mezní stav únosnosti		
		1	5	6
Vlastní tíha jeřábu a zatížení kladkostroje	$Q_C + Q_H$	0	0	0
Zrychlení mostu jeřábu	H_L, H_T	2,03	-	-
Příčení mostu jeřábu	H_S, S	-	6,88	-
Zrychlení kočky	H_{T3}	-	-	5,37
Síly na nárazník	H_B	-	-	-
Celkem		2,03	6,88	5,37
Výsledné ohybové momenty v ose y $M_{i,z}$ [kNm]				
Zatížení	Značka	Skupina zatížení		
		Mezní stav únosnosti		
		1	5	6
Vlastní tíha jeřábu a zatížení kladkostroje	$Q_C + Q_H$	0	0	0
Zrychlení mostu jeřábu	H_L, H_T	5,07	-	-
Příčení mostu jeřábu	H_S, S	-	21,00	-
Zrychlení kočky	H_{T3}	-	-	9,32
Síly na nárazník	H_B	-	-	-
Celkem		5,07	21,00	9,32

Návrhové hodnoty zatížení

Z tabulek 38 a 39 je zřejmé, že pro zatížení ve svislém směru je rozhodující skupina zatížení č. 1, zatímco pro zatížení ve vodorovném směru je dominantní skupina zatížení č. 5. Jako osová normálová síla byla uvažována hodnota normálové vnitřní síly $N_{L,Ed}$, od zatížení zrychlení mostu jeřábu. Přehled návrhových hodnot zatížení je uveden v tabulce 40.

Tabulka 40 Návrhové hodnoty zatížení

Vnitřní síla	Skupina zatížení		Jednotky
	1	5	
$N_{i,Ed}$	2,18	0	kN
$V_{i,z,Ed}$	100,69	89,88	kN
$M_{i,y,Ed}$	127,26	113,49	kNm
$V_{i,y,Ed}$	2,03	6,88	kN
$M_{i,z,Ed}$	5,07	21,00	kNm

3.7.3 Návrh hlavního jeřábového nosníku

Pevnostní třída oceli pro hlavní nosník je S235 a pro kolejnici S355. Jejich charakteristické hodnoty jsou uvedeny v tabulkách 41 a 42.

Tabulka 41 Charakteristické hodnoty oceli S 235

S 235	Značka	Hodnota
Mez kluzu	f_y	235 MPa
Mez pevnosti	f_u	360 MPa

Tabulka 42 Charakteristické hodnoty oceli S 355

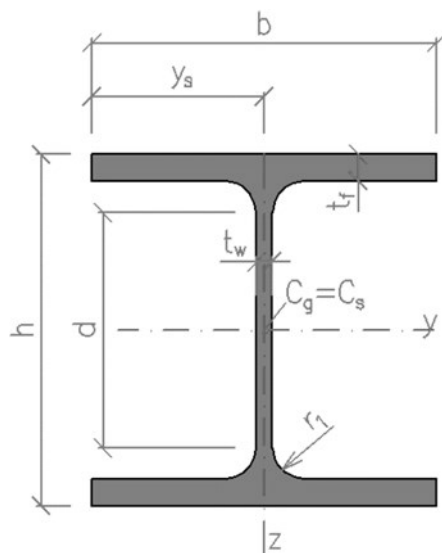
S 355	Značka	Hodnota
Mez kluzu	f_y	355 MPa
Mez pevnosti	f_u	510 MPa

Tabulka 43 Dílčí součinitele spolehlivosti

γ_{M0}	1
γ_{M1}	1
γ_{M2}	1,25

Jako hlavní nosník jeřábové dráhy byl navržen plnostěnný válcovaný profil průřezu HEA 300, jehož průřezové charakteristiky jsou uvedeny v tabulce 44.

Tabulka 44 Průřezové charakteristiky HEA 300 [19]



Obr. 39 HEA 300 [19]

HEA 300	
$G = 88,3 \text{ kg/m}$	
Rozměry	Průřezové charakteristiky
$h = 290 \text{ mm}$	$A = 11250 \text{ mm}^2$
$b = 300 \text{ mm}$	$A_{vz} = 3728 \text{ mm}^2$
$t_w = 8,5 \text{ mm}$	$W_{el,y} = 1260 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$
$t_f = 14 \text{ mm}$	$W_{el,z} = 420,6 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$
$h_w = 208 \text{ mm}$	$W_{pl,y} = 1383 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$
$e_z = 145 \text{ mm}$	$I_y = 182,6 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$
$e_y = 150 \text{ mm}$	$I_z = 63,1 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$
	$I_t = 851,7 \cdot 10^3 \text{ mm}^4$
	$I_w = 1200 \cdot 10^9 \text{ mm}^6$

Zatřídění průřezu

Horní pás

$$\frac{c}{t_f} = \frac{118,750}{14} = 8,482 \leq 9 \cdot \varepsilon = 9 \cdot \sqrt{\frac{235}{235}} = 9 \rightarrow \text{průřez 1. třídy}$$

Stojina

$$\frac{c}{t_w} = \frac{208}{8,5} = 24,470 \leq 72 \cdot \varepsilon = 72 \cdot \sqrt{\frac{235}{235}} = 72 \rightarrow \text{průřez 1. třídy}$$

Navzdory příznivější klasifikaci průřezu je jeřábová dráha vždy řešena pouze pružně.

3.7.4 Posouzení hlavního jeřábového nosníku

V mezním stavu únosnosti byl jeřábový nosník posouzen souběžně ve dvou skupinách zatížení, skupinami č. 1 a 5, které vyvolaly extrémní namáhání nosníku.

Posouzení mezního stavu únosnosti (MSÚ)

Jelikož normálová síla $N_{l,Ed}$ má velmi malou hodnotu a při uvažování vzpěru využívá průřez na minimum, byl její vliv během posuzování MSÚ zanedbán.

Napětí ve spodních vláknech

$$\sigma_{1,s,Ed} = \frac{M_{1,y,Ed}}{I_y} \cdot e_z = \frac{127,26 \cdot 10^6}{182,6 \cdot 10^6} \cdot 145 = 101,06 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{5,s,Ed} = \frac{M_{5,y,Ed}}{I_y} \cdot e_z = \frac{113,49 \cdot 10^6}{182,6 \cdot 10^6} \cdot 145 = 90,12 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{1,s,Ed} = 101,06 \text{ MPa} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{235}{1} = 235 \text{ MPa}$$

Vyhovuje

Napětí v horních vláknech

$$\sigma_{1,h,Ed} = \frac{M_{1,y,Ed}}{I_y} \cdot e_z + \frac{M_{1,z,Ed}}{I_z} \cdot e_y + \frac{N_{1,Ed}}{A} = \frac{127,26 \cdot 10^6}{182,6 \cdot 10^6} \cdot 145 + \frac{5,07 \cdot 10^6}{63,1 \cdot 10^6} \cdot 150 + \frac{2,18 \cdot 10^3}{11250} = 113,30 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{5,h,Ed} = \frac{M_{5,y,Ed}}{I_y} \cdot e_z + \frac{M_{5,z,Ed}}{I_z} \cdot e_y = \frac{113,39 \cdot 10^6}{182,6 \cdot 10^6} \cdot 145 + \frac{21 \cdot 10^6}{63,1 \cdot 10^6} \cdot 150 = 139,96 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{5,h,Ed} = 139,96 \text{ MPa} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{235}{1} = 235 \text{ MPa}$$

Vyhovuje

Interakce klopení a kroucení

Klopení

Bezrozměrný parametr kroucení

$$k_{wt} = \frac{\pi}{k_w \cdot L} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_w}{G \cdot I_t}} = \frac{\pi}{1 \cdot 6100} \cdot \sqrt{\frac{210 \cdot 10^3 \cdot 1200 \cdot 10^9}{81 \cdot 10^3 \cdot 851,7 \cdot 10^3}} = 0,984$$

kde $k_w[-]$ je součinitel vzpěrné délky popisující okrajové podmínky uložení v kroucení; protože ani na jednom konci není bráněno deplanaci, je součinitel roven 1

Bezrozměrný parametr působíště zatížení vzhledem ke středu smyku

$$\zeta_g = \frac{\pi \cdot z_g}{k_z \cdot L} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_z}{G \cdot I_t}} = \frac{\pi \cdot 175}{1 \cdot 6100} \cdot \sqrt{\frac{210 \cdot 10^3 \cdot 63,1 \cdot 10^6}{81 \cdot 10^3 \cdot 851,7 \cdot 10^3}} = 1,25$$

kde $k_z[-]$ je součinitel vzpěrné délky; pro kloubově uložené konce je 1 (vybočení kolmo k z-z)

$z_g[mm]$ souřadnice působíště zatížení vzhledem ke středu smyku, je rovna e

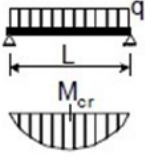
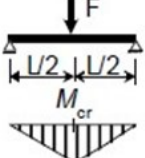
$$e = \frac{h}{2} + h_r = \frac{290}{2} + 30 = 175 \text{ mm}$$

kde $h_r [\text{mm}]$ výška kolejnice

Bezrozměrný parametr nesymetrie průřezu ζ_j je díky symetrii průřezu roven 0.

$$\zeta_j = 0$$

Tabulka 45 Hodnoty součinitelů C_1 , C_2 a C_3 [6]

Zatížení a podmínky podpěření	Součinitele vzpěrné délky			Hodnoty součinitelů							
	k_y	k_z	k_w	$C_1^{1)}$		C_2			C_3		
				$C_{1,0}$	$C_{1,1}$	\perp $\psi_f = -1$	I I I $-0,9 \leq \psi_f \leq 0$	T $\psi_f = 1$	\perp $\psi_f = -1$	I I I $-0,9 \leq \psi_f \leq 0$	T $\psi_f = 1$
	1	1	1	1,13	1,13	0,33	0,46	0,50	0,93	0,53	0,38
	1	1	0,5	1,13	1,23	0,33	0,39	0,50	0,93	0,81	0,38
	1	0,5	1	0,95	1,00	0,25	0,41	0,40	0,84	0,48	0,44
	1	0,5	0,5	0,95	0,97	0,25	0,31	0,40	0,84	0,67	0,44
	1	1	1	1,35	1,36	0,52	0,55	0,42	1,00	0,41	0,31
	1	1	0,5	1,35	1,45	0,52	0,58	0,42	1,00	0,67	0,31
	1	0,5	1	1,03	1,09	0,40	0,45	0,42	0,80	0,34	0,31
	1	0,5	0,5	1,03	1,07	0,40	0,44	0,42	0,80	0,52	0,31

$$C_1 = C_{1,0} + (C_{1,1} - C_{1,0}) \cdot k_{wt} = 1,13 + (1,13 - 1,13) \cdot 1 = 1,13$$

$$C_2 = 0,46$$

$$C_3 = 0,53$$

Bezrozměrný kritický moment

$$\begin{aligned} \mu_{cr} &= \frac{C_1}{k_z} \cdot \left[\sqrt{1 + k_{wt}^2 + (C_2 \cdot \zeta_g - C_3 \cdot \zeta_j)^2} - (C_2 \cdot \zeta_g - C_3 \cdot \zeta_j) \right] = \\ &= \frac{1,13}{1} \cdot \left[\sqrt{1 + 0,984^2 + (0,46 \cdot 1,25 - 0,53 \cdot 0)^2} - (0,46 \cdot 1,25 - 0,53 \cdot 0) \right] = 1,06 \end{aligned}$$

Kritický moment

$$\begin{aligned} M_{y,cr} &= \mu_{cr} \cdot \frac{\pi \cdot \sqrt{E \cdot I_z \cdot G \cdot I_t}}{L} = 1,06 \cdot \frac{\pi \cdot \sqrt{210 \cdot 10^3 \cdot 63,1 \cdot 10^6 \cdot 81 \cdot 10^3 \cdot 851,7 \cdot 10^3}}{6100} = \\ &= 523,97 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Poměrná štíhlost

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{el,y} \cdot f_y}{M_{y,cr}}} = \sqrt{\frac{1260 \cdot 10^3 \cdot 235}{523,97 \cdot 10^6}} = 0,752$$

Tabulka 46 Křivky klopení

Průřez	Meze	Křivka klopení
Válcované I průřezy	$h/b \leq 2$	b
	$h/b > 2$	c
Svařované I průřezy	$h/b \leq 2$	c
	$h/b > 2$	d

$$\frac{h}{b} = \frac{290}{300} = 0,97 \leq 2 \rightarrow \text{křivka vzpěrnosti } b$$

Tabulka 47 Součinitel imperfekce při klopení

Křivka klopení	a	b	c	d
Součinitel imperfekce při klopení α_{LT}	0,21	0,34	0,49	0,76

$$\alpha_{LT} = 0,34$$

$$\begin{aligned} \Phi_{LT} &= 0,5 \cdot \left[1 + \alpha_{LT} \cdot (\bar{\lambda}_{LT} - \bar{\lambda}_{LT,0}) + \beta \cdot \bar{\lambda}_{LT}^2 \right] \\ &= 0,5 \cdot [1 + 0,34 \cdot (0,752 - 0,4) + 0,75 \cdot 0,752^2] = 0,772 \end{aligned}$$

kde $\beta [-]$ je opravný součinitel pro křivky klopení válcovaných průřezů; je roven 0,75

$\lambda_{LT,0} [-]$ délka vodorovné části křivky klopení válcovaných průřezů; je rovna 0,4

Součinitel klopení byl stanoven dle normy ČSN EN 1993-1-1 KAPITOLY 6.3.2.3 [6].

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \beta \cdot \bar{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{0,772 + \sqrt{0,772^2 - 0,75 \cdot 0,752^2}} = 0,843$$

Kroucení

Výpočet samotného kroucení byl proveden podle národní přílohy NB.2 normy ČSN EN 1993-1-1 [6], avšak posouzení hlavního jeřábového nosníku bylo provedeno dle přílohy A normy ČSN EN 1993-6 [7].

$$e = 175 \text{ mm}$$

Parametr tuhosti prutu při kroucení

$$K_t = L \cdot \sqrt{\frac{G \cdot I_t}{E \cdot I_w}} = 6100 \cdot \sqrt{\frac{81 \cdot 10^3 \cdot 851,7 \cdot 10^3}{210 \cdot 10^3 \cdot 1200 \cdot 10^9}} = 3,19$$

Tabulka 48 Koeficienty α a β pro typ zatížení a okrajové podmínky

Okrajové podmínky při kroucení		Krouťicí zatížení		α	β
oboustranné podepření nosníku	prosté podepření (volná deplanace)	plné rovnoměrné		3,1	1,0
		obecné		3,7	1,08
	vetknutí (deplanaci je zabráněno)	plné rovnoměrné	pro vnitřní síly v podpoře	8,0	1,25
			pro maximum v poli	5,6	1,00
		obecné		6,9	1,14
konzola	vetknutí	obecné – pro vnitřní síly v podpoře		2,7	1,11

Rozdělovací parametr

$$\kappa = \frac{1}{\beta + \left(\frac{\alpha}{K_t}\right)^2} = \frac{1}{1,08 + \left(\frac{3,7}{3,19}\right)^2} = 0,41$$

Bimoment vázaného kroucení

$$B_{1,Ed} = M_{1,z,Ed} \cdot e \cdot (1 - \kappa) = 5,07 \cdot 0,175 \cdot (1 - 0,41) = 0,52 \text{ kNm}^2$$

Hodnota momentu vázaného kroucení pro skupinu zatížení č. 5 byla vypočtena stejným způsobem, přehled je zobrazen v tabulce 49.

Tabulka 49 Přehled bimomentů od vázaného kroucení

Bimoment	Skupina zatížení	
	1	5
$B_{i,Ed}$	0,52 kNm ²	2,17 kNm ²

Posouzení interakce klopení a kroucení

K tomu, aby byl nosník shledán vyhovujícím, musí být splněna interakční podmínka A.2 normy ČSN EN 1993-6 uvedená v příloze A. [7]

$$\frac{M_{i,y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{el,y} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{i,z,Ed}}{W_{el,z} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} + \frac{k_{i,w} \cdot k_{i,zw} \cdot k_{i,a} \cdot B_{i,Ed}}{\frac{B_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1,0$$

Vyčíslení chybějících neznámých. Pro I průřez je T_w, R_k přibližně:

$$B_{Rk} = \frac{I_w}{\omega_{max}} \cdot f_y = \frac{1200 \cdot 10^9}{21750} \cdot 235 = 12,96 \text{ kNm}^2$$

$$\omega_{max} = \frac{b \cdot h}{4} = \frac{300 \cdot 290}{4} = 21750 \text{ mm}^2$$

$$k_{1,w} = 0,7 - \frac{0,2 \cdot B_{1,Ed}}{\frac{B_{Rk}}{\gamma_{M1}}} = 0,7 - \frac{0,2 \cdot 0,52 \cdot 10^9}{\frac{12,96 \cdot 10^9}{1,0}} = 0,69$$

$$k_{1,zw} = 1 - \frac{M_{1,z,Ed}}{W_{el,z} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} = 1 - \frac{5,07 \cdot 10^6}{420,6 \cdot 10^3 \cdot \frac{235}{1,0}} = 0,95$$

$$k_{1,a} = \frac{1}{1 - \frac{M_{1,y,Ed}}{M_{y,cr}}} = \frac{1}{1 - \frac{127,26 \cdot 10^6}{523,97 \cdot 10^6}} = 1,32$$

Všechny neznámé byly vyčísleny a je tedy možné dosadit zpět do podmínky pro první skupinu zatížení:

$$\begin{aligned} & \frac{127,26 \cdot 10^6}{0,843 \cdot 1260 \cdot 10^3 \cdot \frac{235}{1,0}} + \frac{5,07 \cdot 10^6}{420,6 \cdot 10^3 \cdot \frac{235}{1,0}} + \frac{0,69 \cdot 0,95 \cdot 1,32 \cdot 0,52 \cdot 10^9}{\frac{12,96 \cdot 10^9}{1,0}} = \\ & = 0,51 + 0,05 + 0,03 = 0,59 \leq 1 \end{aligned}$$

Vyhovuje

Analogicky byly vypočteny neznámé pro skupinu zatížení č.5 a opět dosazeny do podmínky:

$$k_{5,w} = 0,67$$

$$k_{5,zw} = 0,79$$

$$k_{5,a} = 1,28$$

$$\begin{aligned} & \frac{113,49 \cdot 10^6}{0,843 \cdot 1260 \cdot 10^3 \cdot \frac{235}{1,0}} + \frac{21 \cdot 10^6}{420,6 \cdot 10^3 \cdot \frac{235}{1,0}} + \frac{0,67 \cdot 0,79 \cdot 1,28 \cdot 2,17 \cdot 10^9}{\frac{12,96 \cdot 10^9}{1,0}} = \\ & = 0,45 + 0,21 + 0,11 = 0,77 \leq 1 \end{aligned}$$

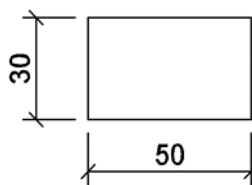
Vyhovuje

Lokální tlakové a smykové napětí

Roznášecí délka pásnice

$$l_{eff} = 3,25 \cdot \sqrt[3]{\frac{I_r + I_{f,eff}}{t_w}} = 3,25 \cdot \sqrt[3]{\frac{0,844 \cdot 10^5 + 19,78 \cdot 10^3}{8,5}} = 74,93 \text{ mm}$$

kde $I_r [mm^4]$ je moment setrvačnosti kolejnice k její vlastní vodorovné ose
 $I_{f,eff} [mm^4]$ moment setrvačnosti pásnice k její vlastní vodorovné ose



Obr. 40 Kolejnice

$$b_r = 50 \text{ mm}$$

$$h_r = 30 \text{ mm}$$

Efektivní šířka pásnice

$$b_{eff} = b_r + 0,75 \cdot h_r + t_f = 50 + 0,75 \cdot 30 + 14 = 86,5 \text{ mm}$$

Moment setrvačnosti pásnice k její vlastní vodorovné ose

$$I_{f,eff} = \frac{1}{12} \cdot b_{eff} \cdot t_f^3 = \frac{1}{12} \cdot 86,5 \cdot 14^3 = 19,78 \cdot 10^3 \text{ mm}^4$$

Svislé tlakové napětí

$$\sigma_{oz,Ed} = \frac{F_{Ed}}{l_{eff} \cdot t_w} = \frac{F_1}{l_{eff} \cdot t_w} = \frac{58,84 \cdot 10^3}{74,93 \cdot 8,5} = 92,38 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{oz,Ed} = 92,38 \text{ MPa} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{235}{1} = 235 \text{ MPa}$$

Vyhovuje

Lokální smykové napětí

$$\tau_{oxz,Ed} = 0,2 \cdot \sigma_{oz,Ed} = 0,2 \cdot 92,38 = 18,48 \text{ MPa}$$

$$\tau_{oxz,Ed} = 18,48 \text{ MPa} \leq \frac{f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{235}{\sqrt{3} \cdot 1} = 135,68 \text{ MPa}$$

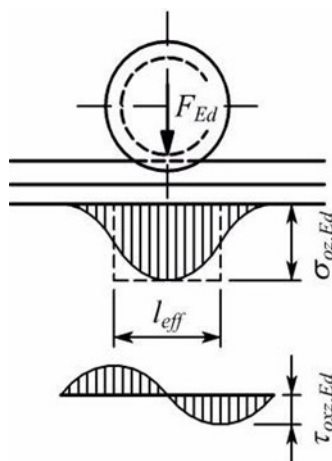
Vyhovuje

Interakce normálového a smykového napětí

$$\sqrt{\sigma_{oz,Ed}^2 + 3 \cdot \tau_{oxz,Ed}^2} = \sqrt{92,38^2 + 3 \cdot 18,48^2} = 97,77 \text{ MPa}$$

$$97,77 \text{ MPa} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{235}{1} = 235 \text{ MPa}$$

Vyhovuje



Obr. 41 Lokální tlakové a smykové napětí pod kolovým zatížením

Interakce lokálního boulení a ohybového momentu

Výpočet byl proveden dle ČSN EN 1993-1-5 [8].

Lokální boulení

$$F_{Rd} = \frac{f_y \cdot L_{eff} \cdot t_w}{\gamma_{M1}} = \frac{235 \cdot 241,27 \cdot 8,5}{1,0} = 481,94 \text{ kN}$$

Účinná délka

$$L_{eff} = \chi_F \cdot l_y = 1,0 \cdot 241,27 = 241,27 \text{ mm}$$

Účinná zatížená délka

$$l_y = s_s + 2 \cdot t_f \cdot (1 + \sqrt{m_1 + m_2}) = 46,93 + 2 \cdot 14 \cdot (1 + \sqrt{35,29 + 0}) = 241,27 \text{ mm}$$

Roznášecí délka na pásnici

$$s_s = l_{eff} - 2 \cdot t_f = 241,27 - 2 \cdot 14 = 213,27 \text{ mm}$$

Bezrozměrný parametr

$$m_1 = \frac{b}{t_w} = \frac{300}{8,5} = 35,29 \text{ mm}$$

$m_2 = 0 \rightarrow$ je konzervativně uvažována nula

Součinitel lokálního boulení

$$\chi_F = \frac{0,5}{\bar{\lambda}_F} = \frac{0,5}{0,379} = 1,319 \leq 1,0 \rightarrow \chi_F = 1,0$$

Poměrná štíhlost

$$\bar{\lambda}_F = \sqrt{\frac{l_y \cdot t_w \cdot f_y}{F_{cr}}} = \sqrt{\frac{241,27 \cdot 8,5 \cdot 235}{3348 \cdot 10^3}} = 0,379$$

Kritická síla při lokálním boulení

$$F_{cr} = 0,9 \cdot k_f \cdot E \cdot \frac{t_w^3}{h_w} = 0,9 \cdot 6 \cdot 210 \cdot 10^3 \cdot \frac{8,5^3}{208} = 3348,16 \text{ kN}$$

kde $h_w [mm]$ výška stojiny mezi pásnicemi

Součinitel boulení

$$k_f = 6 + 2 \cdot \left(\frac{h_w}{a}\right)^2 = 6 + 2 \cdot \left(\frac{208}{6100}\right)^2 = 6$$

Vzdálenost výztuh

$$a = 6100 \text{ mm}$$

Posouzení spolehlivosti pro lokální boulení stojiny

$$F_{Ed} = F_1 = 58,84 \text{ kN} \leq F_{Rd} = 481,94 \text{ kN}$$

Vyhovuje

Interakce lokálního boulení a ohybového momentu

$$\frac{F_{Ed}}{F_{Rd}} + 0,8 \cdot \frac{M_{Ed}}{M_{pl,Rd}} \leq 1,4$$

Plastická momentová únosnost, bez ohledu na třídu průřezu

$$M_{pl,Rd} = W_{pl,y} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 1383 \cdot 10^3 \cdot \frac{235}{1} = 325 \text{ kNm}$$

$$\frac{F_{ed}}{F_{Rd}} + 0,8 \cdot \frac{M_{Ed}}{M_{pl,Rd}} = \frac{58,84 \cdot 10^3}{481,94 \cdot 10^3} + 0,8 \cdot \frac{127,26 \cdot 10^6}{325 \cdot 10^6} = 0,12 + 0,31 = 0,43 \leq 1,4$$

Vyhovuje

Globální smykové napětí

$$\tau_{v,Ed} = \frac{V_{1,z,Ed} \cdot S_{f,y}}{I_y \cdot t_w} [MPa]$$

Statický moment horní pásnice k těžišťové ose y

$$S_{f,y} = b \cdot t_f \cdot \left(e_z - \frac{t_f}{2} \right) = 300 \cdot 14 \cdot \left(145 - \frac{14}{2} \right) = 579,6 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

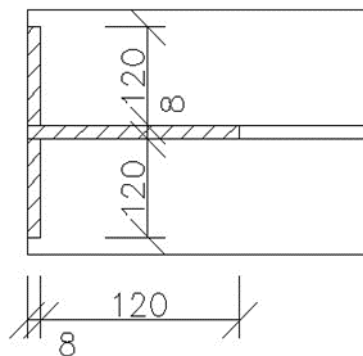
$$\tau_{v,Ed} = \frac{V_{1,z,Ed} \cdot S_{f,y}}{I_y \cdot t_w} = \frac{100,69 \cdot 10^3 \cdot 579,6 \cdot 10^3}{182,6 \cdot 10^6 \cdot 8,5} = 37,56 \text{ MPa}$$

$$\tau_{v,Ed} = 37,56 \text{ MPa} \leq \frac{f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{235}{\sqrt{3} \cdot 1} = 135,68 \text{ MPa}$$

Vyhovuje

Příčné výztuhy

Koncová příčná výztuha (netuhá)



Obr. 42 Koncová výztuha

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 1,0$$

Plocha výztuhy

$$A = (8 + 120) \cdot 8,5 + 2 \cdot 120 \cdot 8 = 3008 \text{ mm}^2$$

Moment setrvačnosti

$$I_{st} = \frac{1}{12} \cdot (120 \cdot 8,5^3 + 8 \cdot 248,5^3) = 10,24 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

Poloměr setrvačnosti

$$i_{st} = \sqrt{\frac{I_{st}}{A}} = \sqrt{\frac{10,24 \cdot 10^6}{3008}} = 58,35$$

Posouzení tuhosti výztuhy

$$\frac{a}{h_w} = \frac{6100}{208} = 29,33 \geq \sqrt{2} = 1,41$$

$$I_{st} = 10,24 \cdot 10^6 \text{ mm}^4 \leq 0,75 \cdot h_w \cdot t_w^3 = 0,75 \cdot 208 \cdot 8,5^3 = 95,81 \cdot 10^3 \text{ mm}^4$$

Vyhovuje

Posouzení únosnosti výztuhy

Vzpěrná délka

$$L_{cr} = 0,75 \cdot h_w = 0,75 \cdot 208 = 156 \text{ mm}$$

Kritická štíhlost

$$\lambda = \frac{L_{cr}}{i_{st}} = \frac{156}{58,35} = 2,67$$

Poměrná štíhlost

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_1} = \frac{2,67}{93,9} = 0,028 \leq 0,2 \rightarrow \text{účinky vzpěru lze zanedbat}$$

Návrhová únosnost v tlaku

$$N_{b,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{3008 \cdot 235 \cdot 10^{-3}}{1,0} = 706,88 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{z,Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{100,69}{706,88} = 0,142 \leq 1,0$$

Vyhovuje

Posouzení mezního stavu použitelnosti (MSP)

Svislý průhyb ve směru osy z

$$\delta_{z,CD} = \frac{L}{600} = \frac{6100}{600} = 10,17 \text{ mm}$$

Limitní průhyb

Průhyb od stálého zatížení

$$\delta_g = \frac{5}{384} \cdot \frac{g_k \cdot L^4}{E \cdot I_y} = \frac{5}{384} \cdot \frac{1 \cdot 6100^4}{210 \cdot 10^3 \cdot 182,6 \cdot 10^6} = 0,47 \text{ mm}$$

Průhyb od proměnného zatížení

$$F_k = Q_{r,k} = 43,58 \text{ kN} \rightarrow \text{skupina zatížení č. 1}$$

Pro stanovení maximálního svislého průhybu $\delta_{i,z}$ byly použity dva zatěžovací stavy viz příloha č. 5.

Výpočet průhybů od jednotlivých zatěžovacích stavů byl proveden pomocí výpočetního programu SCIA Engineer 19 a výsledky jsou:

$$\delta_{a,z} = 8,9 \text{ mm}$$

$$\delta_{b,z} = 9,1 \text{ mm}$$

Výsledný průhyb

$$\delta_z = \delta_{b,z} + \delta_g = 9,1 + 0,47 = 9,57 \text{ mm}$$

$$\delta_z = 9,57 \text{ mm} \leq \delta_{z,CD} = 10,17 \text{ mm}$$

Vyhovuje

Vodorovná deformace ve směru osy y

Limitní průhyb

$$\delta_{y,CD} = 10,17 \text{ mm}$$

Charakteristické zatěžovací síly od zrychlení mostu jeřábu:

$$H_{T,2} = 4,17 \text{ kN}$$

Od přičení mostu jeřábu:

$$H_{S,2,1,T} = 10,2 \text{ kN}$$

A od zrychlení kočky:

$$H_{T3,1} = 3,37 \text{ kN}$$

Pro stanovení maximálního vodorovného průhybu $\delta_{i,y}$ byly použity čtyři zatěžovací stavy viz příloha č. 6.

Výpočet průhybů od jednotlivých zatěžovacích stavů byl proveden pomocí výpočetního programu SCIA Engineer 19 a výsledky jsou:

$$\delta_{a,y} = 0,5 \text{ mm}$$

$$\delta_{b,y} = 3,7 \text{ mm}$$

$$\delta_{c,y} = 1,9 \text{ mm}$$

$$\delta_{d,y} = 2,0 \text{ mm}$$

Výsledný průhyb

$$\delta_y = \delta_{b,y} = 3,7 \text{ mm}$$

$$\delta_z = 3,7 \text{ mm} \leq \delta_{z,CD} = 10,17 \text{ mm}$$

Vyhovuje

Prvky jeřábové dráhy nemají citlivá místa na únavu, proto nebylo potřebné provést výpočet jeřábové dráhy na únavu.

.

3.8 Konzola

Použité zdroje a literatura [6]

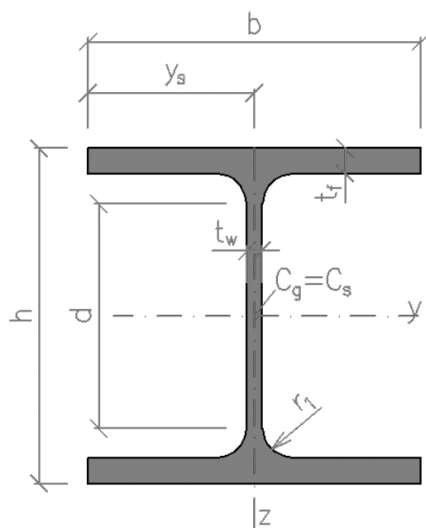
Konzola tvoří nosnou konstrukci pro hlavní nosník jeřábové dráhy, kolejnici a jeřáb. Konzola byla navržena z válcovaného profilu HEB 180 oceli třídy S235. Vyložení konzoly je 0,44 m od osy sloupu ve výšce 6,040 m od úrovně podlahy.

Tabulka 50 Charakteristické hodnoty oceli S 235

S 235	Značka	Hodnota
Mez kluzu	f_y	235 MPa
Mez pevnosti	f_u	360 MPa

Tabulka 51 Dílčí součinitele spolehlivosti

γ_{M0}	1
γ_{M1}	1
γ_{M2}	1,25



Obr. 43 HEB 180 [19]

Tabulka 52 Průřezové charakteristiky HEB 180 [19]

HEB 180	
$G = 51,2 \text{ kg/m}$	
Rozměry	Průřezové charakteristiky
$h = 180 \text{ mm}$	$A = 6530 \text{ mm}^2$
$b = 180 \text{ mm}$	$W_{el,y} = 4,26 \cdot 10^5 \text{ mm}^3$
$t_w = 8,5 \text{ mm}$	$W_{el,z} = 1,51 \cdot 10^5 \text{ mm}^3$
$t_f = 14 \text{ mm}$	$W_{pl,y} = 4,82 \cdot 10^5 \text{ mm}^3$
$h_w = 122 \text{ mm}$	$I_y = 3,83 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$
$e_z = 90 \text{ mm}$	$I_z = 1,36 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$
$e_y = 90 \text{ mm}$	$I_{\bar{t}} = 4,21 \cdot 10^5 \text{ mm}^4$
	$I_w = 9,38 \cdot 10^{10} \text{ mm}^6$

3.8.1 Mezní stav únosnosti (MSÚ)

Zatřídění průřezu

Horní pás

$$\frac{c}{t_f} = \frac{70,75}{14} = 5,054 \leq 9 \cdot \varepsilon = 9 \cdot \sqrt{\frac{235}{235}} = 9 \rightarrow \text{průřez 1. třídy}$$

Stojina

$$\frac{c}{t_w} = \frac{122}{8,5} = 14,35 \leq 72 \cdot \varepsilon = 72 \cdot \sqrt{\frac{235}{235}} = 72 \rightarrow \text{průřez 1. třídy}$$

Namáhání smykem

Plocha stojiny

$$A_w = h_w \cdot t_w = 122 \cdot 8,5 = 1037 \text{ mm}^2$$

Návrhová hodnota smykové síly

$$V_{Ed} = F_k \cdot 1,35 = 77,506 \cdot 1,35 = 104,63 \text{ kN}$$

Návrhová únosnost ve smyku

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_w \cdot f_y}{\gamma_{M0} \cdot \sqrt{3}} = \frac{1037 \cdot 235}{1 \cdot \sqrt{3}} = 140,7 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{104,63}{140,7} = 0,74 \leq 1,0$$

Vyhovuje

$$\frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{104,63}{140,7} = 0,74 > 0,5$$

Velký smyk → redukce únosnosti v ohybu

Namáhání ohybem

Redukce únosnosti v ohybu

Součinitel redukce

$$\rho = \left(2 \cdot \frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} \right)^2 = \left(2 \cdot \frac{104,63}{140,7} - 1 \right)^2 = 0,237$$

Snížená mez kluzu

$$(1 - \rho) \cdot f_y = (1 - 0,237) \cdot 235 = 179,31 \text{ MPa}$$

Návrhová hodnota ohybového momentu

$$M_{Ed} = 104,63 \cdot 0,44 + 0,512 \cdot \frac{0,44^2}{2} = 46,09 \text{ kNm}$$

Návrhová únosnost v ohybu

$$M_{Rd} = \frac{W_{y,pl} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,482 \cdot 179,31}{1,0} = 86,43 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} = \frac{46,09}{86,43} = 0,53 \leq 1,0$$

Vyhovuje

3.8.2 Mezní stav použitelnosti (MSP)

$$F_k = F_{jeřáb,k} + F_{kolejnice} + F_{HEA300,k} = 77,506 + 0,117 \cdot 6,1 + 0,883 \cdot 6,1 = 83,61 \text{ kN}$$

$$q_{vl,tíha,k} = 0,512 \text{ kN/m}$$

$$f_1 = \frac{q_{vl,tíha,k} \cdot L^4}{8 \cdot EI} = \frac{0,512 \cdot 0,44^4}{8 \cdot 23,73} = 0,0001 \text{ mm}$$

$$f_2 = \frac{F_k \cdot L^3}{3 \cdot EI} = \frac{83,61 \cdot 0,44^3}{3 \cdot 23,73} = 0,1 \text{ mm}$$

$$f_{celk} = f_1 + f_2 = 0,0001 + 0,1 = 0,1 \text{ mm}$$

$$f_{celk} = 0,1 \text{ mm} \leq f_{lim} = \frac{L}{600} = \frac{440}{600} = 0,73 \text{ mm}$$

Vyhovuje

3.9 Předběžné posouzení hlavních nosných prvků

Předběžné posouzení hlavních nosných prvků bylo provedeno na 2D výpočetním modelu pomocí výpočetního programu SCIA Engineer 19. Byl proveden lineární výpočet.

3.9.1 Imperfekce

Vliv imperfekcí rámu se zavádí počátečním natočením sloupu $\phi = 1/200$. Účinek tohoto natočení se ve výpočtu nahradí vodorovnými silami $H\phi = \phi \cdot \Sigma N$. Rámové imperfekce se počítají pro zatěžovací stavy, při kterých jsou sloupy tlačeny.

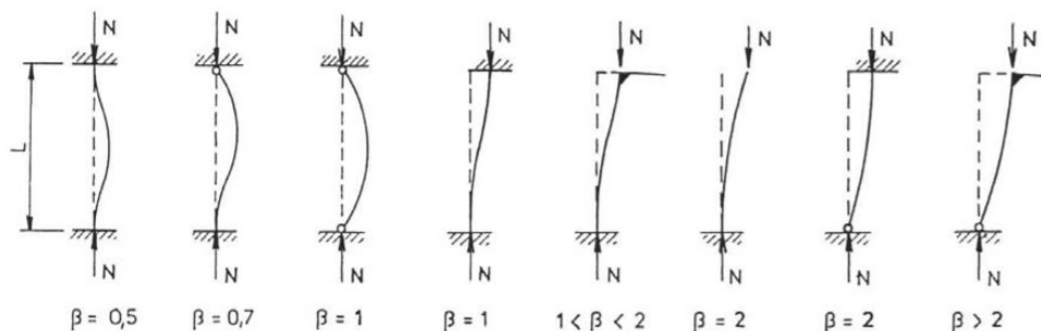
Výslednice zatížení

Normálové síly byly převzaty z výpočetního programu SCIA Engineer 19 viz příloha č. 7.

Tabulka 53 Ekvivalentní vodorovné síly

ZATÍŽENÍ		Výsledné normálové síly		
		N ₁ [kN]	N ₂ [kN]	N ₃ [kN]
Stálé	vl. tíha kce	5,6	12,38	8,51
	střecha + stěna	10,63	27,27	18,96
Proměnné	sníh nenavátý	17,24	38,45	17,23
	sníh navátý	20,66	74,03	15,83
ZATÍŽENÍ		Ekvivalentní vodorovné síly		
		$H\phi_1$ [kN]	$H\phi_2$ [kN]	$H\phi_3$ [kN]
Stálé	vl. tíha kce + střecha + stěna	0,08	0,20	0,14
Proměnné	sníh nenavátý	0,09	0,19	0,09
	sníh navátý	0,10	0,37	0,08

Vzpěrné délky byly určeny (dle Obr. 44) a následně ručně zavedeny do výpočtu.



Obr. 44 Základní případy vzpěrných délek [16]

3.9.2 Zatěžovací stavy příčného rámu

Pro návrh příčného rámu (hlavní a vedlejší lodě) byly pro statický výpočet uvažovány následující zatěžovací stavy:

ZS1 - Vlastní tíha konstrukce

ZS2 - Stálé zatížení

ZS3 - Sníh nenavátý

ZS4 - Sníh navátý

ZS5 - Příčný vítr zleva (- -) - 0,2

ZS6 - Příčný vítr zleva (- -) - 0,3

ZS7 - Příčný vítr zleva (+ -) - 0,2

ZS8 - Příčný vítr zleva (+ -) - 0,3

ZS9 - Příčný vítr zprava (- -) - 0,2

ZS10 - Příčný vítr zprava (- -) - 0,3

ZS11 - Příčný vítr zprava (- +) - 0,2

ZS12 - Příčný vítr zprava (- +) - 0,3

ZS13 - Jeřáb vlevo (SKUPINA 1)

ZS14 - Jeřáb vpravo (SKUPINA 1)

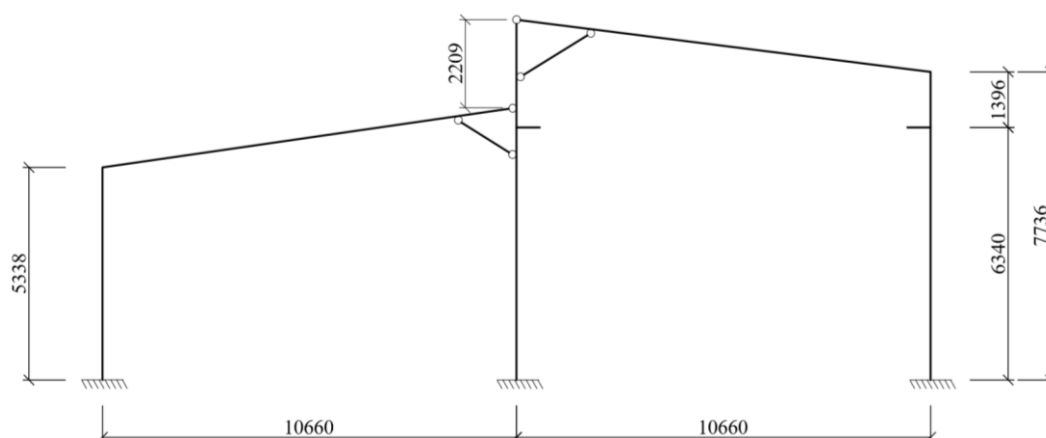
ZS15 - Jeřáb vlevo (SKUPINA 5)

ZS16 - Jeřáb vpravo (SKUPINA 5)

Všechny zatěžovací stavy jsou uvedeny v příloze č. 8.

Nominální velikosti zatížení byly určeny v kapitolách 3.1, 3.2, 3.3 a 3.7, přičemž byly vynásobeny zatěžovací šířkou 6,1 m.

Statické schéma



Obr. 45 Statické schéma

Vlastní tíha konstrukce

Vlastní tíha konstrukce byla generována automaticky na základě hmotnosti profilů a tíhového zrychlení pomocí výpočetního programu SCIA Engineer 19.

Stálé zatížení

Stálé zatížení zahrnuje:

střešní plášť	$g_{1,k} = 0,096 \cdot 6,1$	$= 0,59 \text{ kN/m}$
tenkostěnné vaznice	$g_{2,k}$	$= 0,04 \text{ kN/m}$
lehké elektrorozvody	$g_{3,k} = 0,08 \cdot 6,1$	$= 0,49 \text{ kN/m}$

Celkem střecha **$= 1,12 \text{ kN/m}$**

obvodový plášť	$g_{4,k} = 0,1013 \cdot 6,1$	$= 0,62 \text{ kN/m}$
rezerva (paždíky apod.)	$g_{5,k} = 0,05 \cdot 6,1$	$= 0,31 \text{ kN/m}$

Celkem stěny **$= 0,93 \text{ kN/m}$**

vlastní tíha kolejnice	$g_{6,k}$	$= 0,167 \text{ kN/m}$
vlastní tíha HEA300	$g_{7,k}$	$= 0,833 \text{ kN/m}$

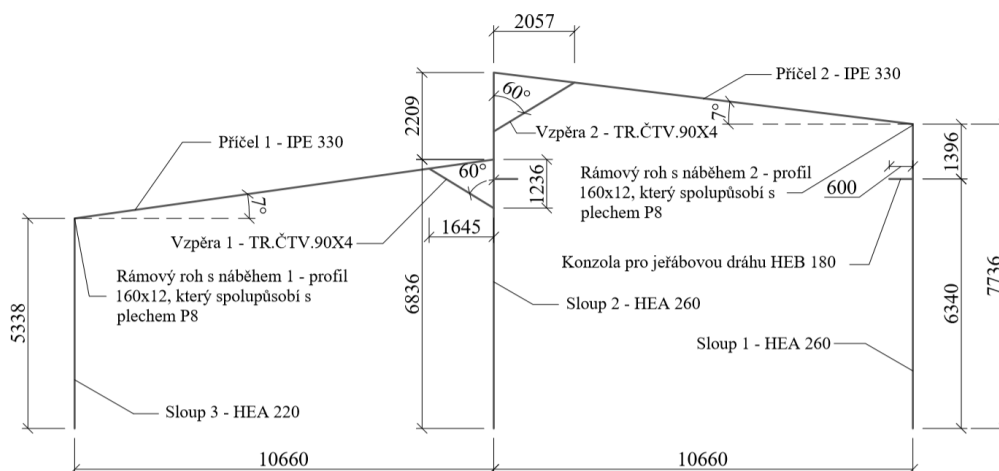
Celkem jeřábová dráha: **$= 1 \text{ kN/m}$**

Přepočet na bodovou sílu

$$F_{JD} = 1 \cdot 6,1 = 6,1 \text{ kN}$$

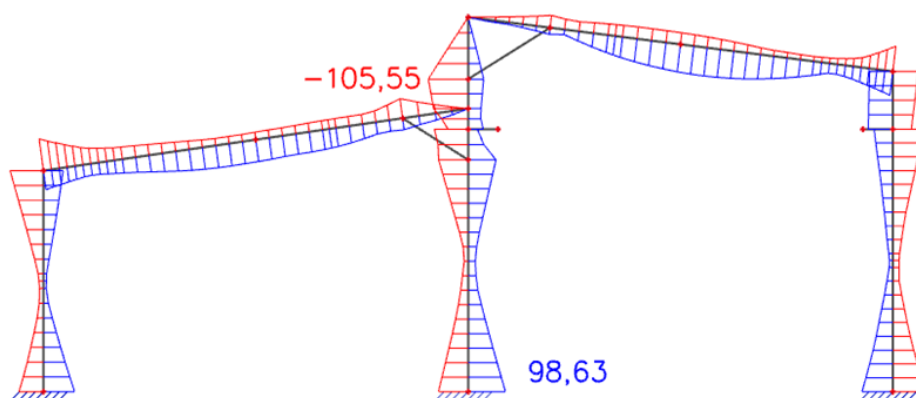
3.9.3 Posouzení

Byly navrženy hlavní nosné prvky konstrukce (viz Obr. 46) a následně posouzeny.

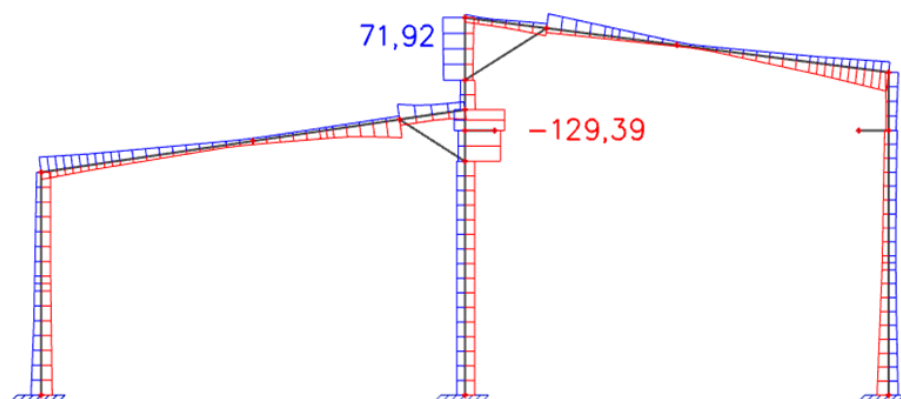


Obr. 46 Schéma použitých profilů

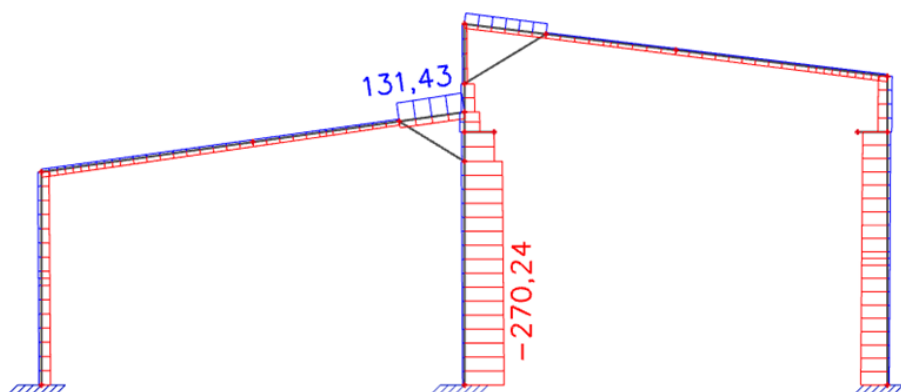
Mezní stav únosnosti (MSÚ)



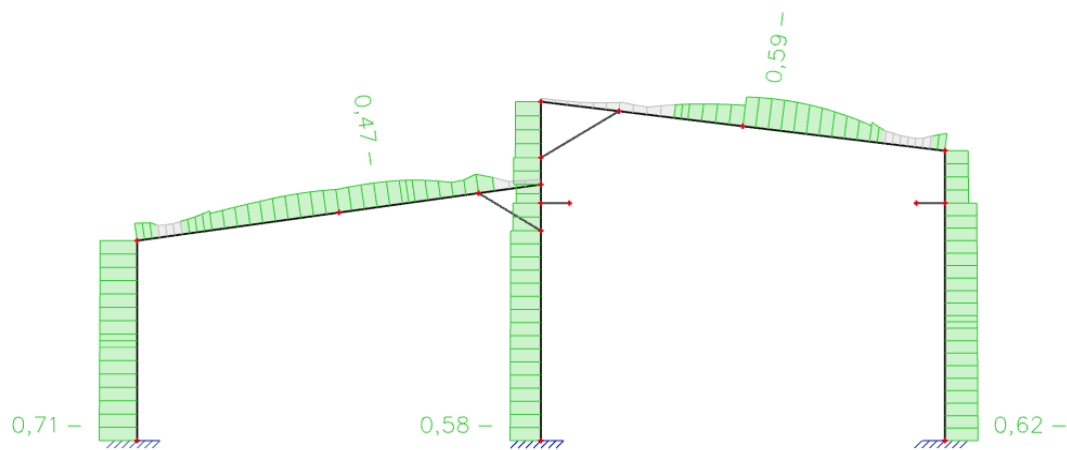
Obr. 47 Průběh ohybových momentů - obálka [kNm]



Obr. 48 Průběh posouvající síly - obálka [kN]



Obr. 49 Průběh normálové síly - obálka [kN]



Obr. 50. Využití navržených profilů

Výpočet kombinací byl proveden pomocí základní kombinace dle vztahu 6.10 normy EN 1990, díky které je navržená konstrukce na straně konzervativní a zároveň je možné využít tento návrh v zahraničí.

Rozhodující kombinace:

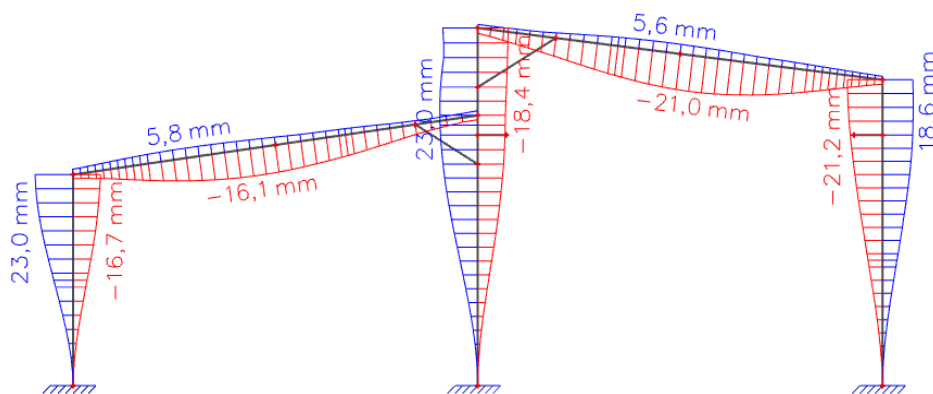
Sloup 1 - $1,35 \cdot ZS1 + 1,35 \cdot ZS2 + 1,5 \cdot ZS3 + 0,9 \cdot ZS11 + 1,35 \cdot ZS16$

Sloup 2 - $1,35 \cdot ZS1 + 1,35 \cdot ZS2 + 0,75 \cdot ZS4 + 1,5 \cdot ZS11 + 1,35 \cdot ZS15$

Sloup 3 - $1,35 \cdot ZS1 + 1,35 \cdot ZS2 + 1,5 \cdot ZS4 + 0,9 \cdot ZS11 + 1,35 \cdot ZS15$

Příčel 1 - $1,35 \cdot ZS1 + 1,35 \cdot ZS2 + 1,5 \cdot ZS4 + 0,9 \cdot ZS10 + 1,35 \cdot ZS15$

Příčel 2 - $1,35 \cdot ZS1 + 1,35 \cdot ZS2 + 0,75 \cdot ZS4 + 1,5 \cdot ZS11 + 1,35 \cdot ZS15$

Mezní stav použitelnosti (MSP)

Obr. 51. Výsledné průhyby

Posouzení přičle

$$f_{celk} = 21,0 \text{ mm} \leq f_{lim} = \frac{L}{250} = \frac{10740}{250} = 42,96 \text{ mm}$$

*Vyhovuje***Posouzení sloupu**

$$f_{celk} = 23,0 \text{ mm} \leq f_{lim} = \frac{L}{150} = \frac{5338}{150} = 35,59 \text{ mm}$$

*Vyhovuje***Rozhodující kombinace:**

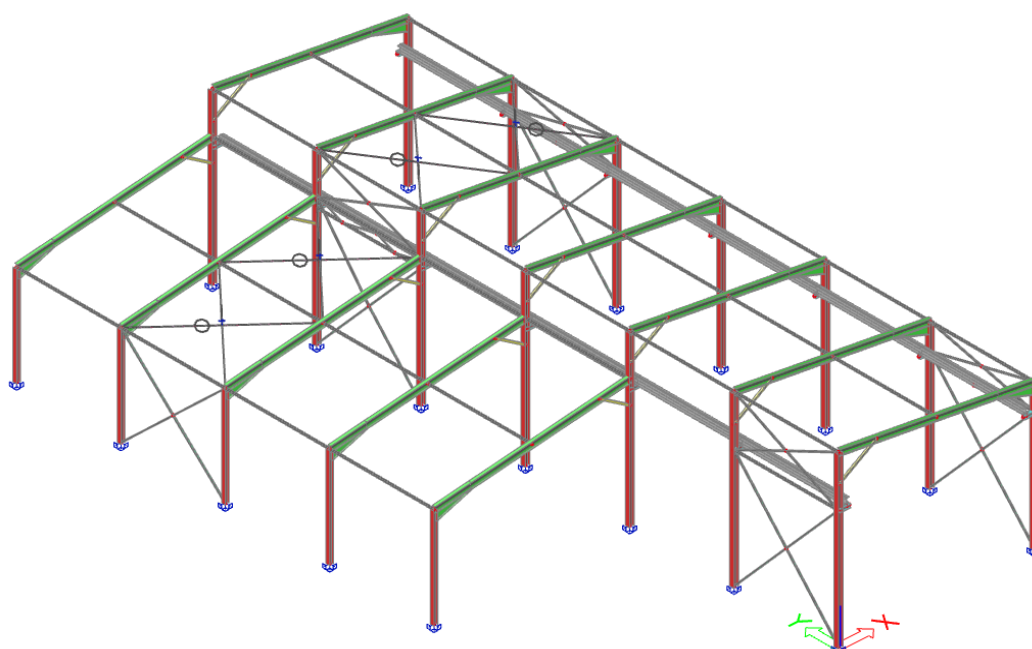
$$1 \cdot \text{ZS1} + 1 \cdot \text{ZS2} + 1 \cdot \text{ZS11} + 1 \cdot \text{ZS15}$$

$$1 \cdot \text{ZS1} + 1 \cdot \text{ZS2} + 0,5 \cdot \text{ZS3} + 1 \cdot \text{ZS11} + 1 \cdot \text{ZS14}$$

$$1 \cdot \text{ZS1} + 1 \cdot \text{ZS2} + 0,5 \cdot \text{ZS4} + 1 \cdot \text{ZS11} + 1 \cdot \text{ZS15}$$

3.10 Porovnání výpočetního modelu 2D a 3D

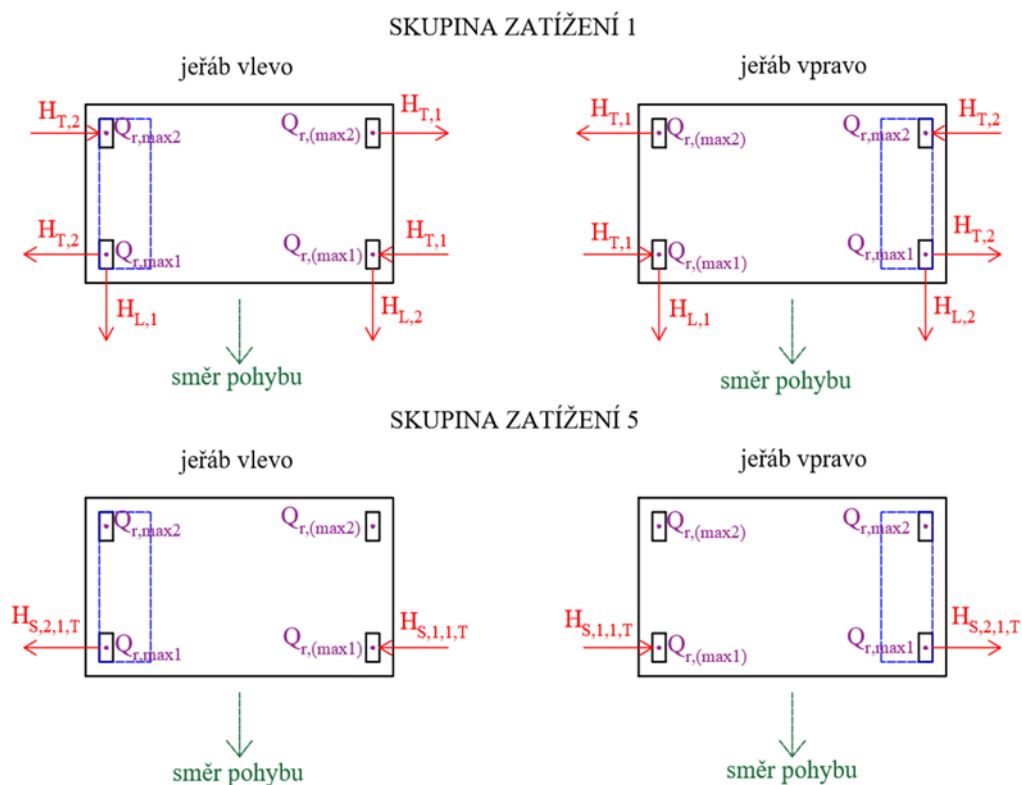
Statický výpočet z 2D výpočetním modelem byl rozšířen pro kontrolní výpočet na 3D výpočetní model. Byl proveden lineární výpočet a následně nelineární výpočet z důvodu vyloučení tlaku v táhlech. Posouzení všech prvků haly bylo provedeno pomocí programu SCIA Engineer 19. V kapitole 3.11 byly vybrány dva hlavní nosné prvky haly a následně ručně posouzeny.



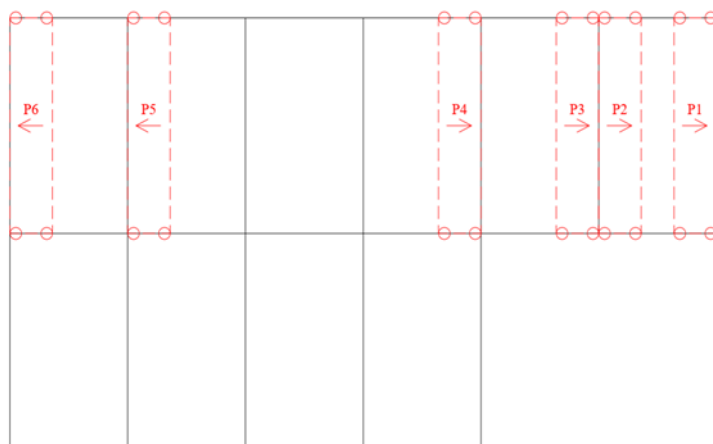
Obr. 52 3D model ocelové výrobní haly s krytým skladištěm, jeřábovou dráhou a přístavbou

Zatěžovací stavy pro stálé zatížení, zatížení sněhem a zatížení větrem byly vytvořeny pomocí zatěžovacích panelů, kde bylo zatížení zadáno ručně (výpočet jednotlivých zatížení viz předcházející kapitoly). V krytém skladišti bylo zavedeno zatížení od změny teploty.

Zatížení od jeřábu bylo zadáno pomocí bodových sil, které odpovídají skutečnému chování jeřábu. Byly uvažovány pouze rozhodující skupiny zatížení. Skupina zatížení 1 pro svislé síly a skupina zatížení 5 pro vodorovné síly. Jeřáb byl uvažován v 6-ti nejnejpříznivějších místech, kde rozhodovala pouze jedna skupina zatížení s umístěním jeřábu vlevo nebo vpravo (viz Obr. 53).



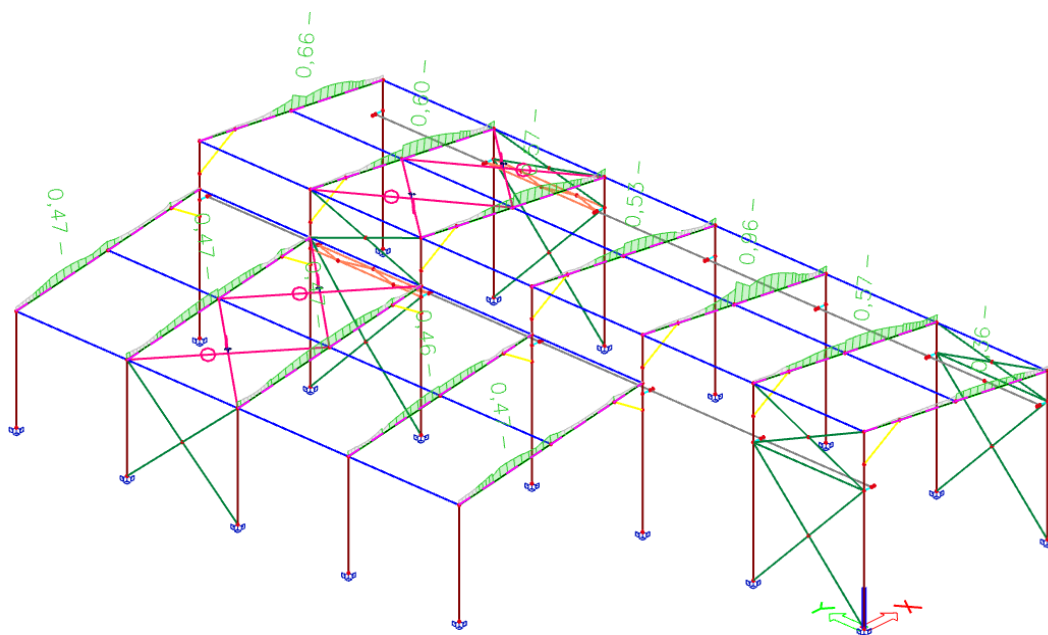
Obr. 53 Skupiny zatížení od jeřábu



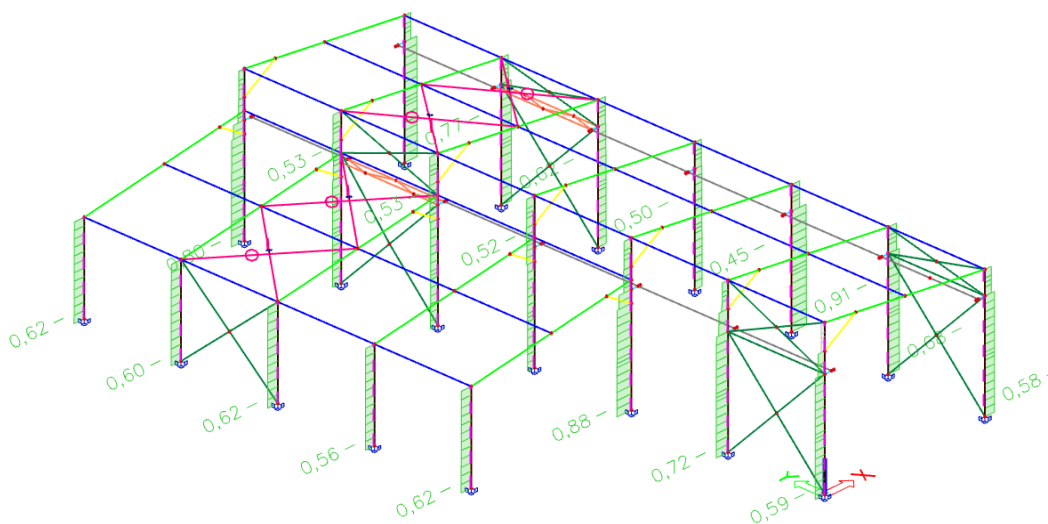
Obr. 54 Nejnepriznivější místa umístění jeřábu

Stejně jako u 2D výpočetního modelu byly vzpěrné délky jednotlivých prutů zadány ručně. Jelikož byly uvažovány nejhorší možné součinitele vzpěrných délek β je výpočet na straně konzervativní (viz Obr. 44).

U 3D výpočetního modelu je patrné různé využití průřezu příčných rámců a sloupů, které závisí především na oblasti větru a umístění jeřábu.



Obr. 55 Využití průřezu rámové přičle



Obr. 56 Využití průřezu sloupů

Mezi nevýhody 3D výpočetního modelu patří zvýšení časové náročnosti výpočtu programem SCIA Engineer 19 a náročnější způsob tvorby okrajových podmínek. Bylo provedeno porovnání vnitřních sil pro hlavní a vedlejší loď. Vnitřní síly z krytého skladiště byly získány pouze z 3D výpočetního modelu, viz příloha č. 9. Vykreslení vnitřních sil ve 2D a 3D výpočetním modelu je uvedeno v příloze č. 10.

Pro porovnání byly vybrány nejvíce namáhané prvky - Příčel 2 a Sloup 2.

Tabulka 54 Porovnání vnitřních sil 2D a 3D modelu

Hlavní a vedlejší loď		
Vnitřní síly		
PŘÍČEL 2	Ohybový moment [kNm]	
	V místě rámového rohu	V poli
2D model	-64,75	72,55
3D model	-71,32	73,54
PŘÍČEL 2	Posouvající síla [kN]	
	V místě rámového rohu	V místě vzpěry
2D model	-59,09	45,00
3D model	-65,49	45,77
PŘÍČEL 2	Normálová síla [kN]	
	V místě rámového rohu	V místě vzpěry
2D model	-36,93	73,56
3D model	-39,31	75,28

Tabulka 55 Porovnání vnitřních sil 2D a 3D modelu

Hlavní a vedlejší loď		
Vnitřní síly		
SLOUP 2	Ohybový moment [kNm]	
	Maximální záporný	Maximální kladný
2D model	-105,55	98,63
3D model	-108,93	102,35
SLOUP 2	Posouvající síla [kN]	
	Maximální záporná	Maximální kladná
2D model	-129,39	71,92
3D model	-129,17	74,21
SLOUP 2	Normálová síla [kN]	
	Maximální záporná	Maximální kladná
2D model	-270,24	32,77
3D model	-277,79	47,83

3.11 Posouzení vybraných hlavních nosných prvků

Tabulka 56 Charakteristické hodnoty oceli S235

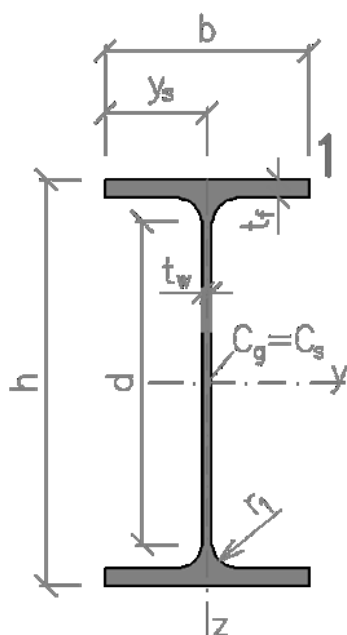
S 235	Značka	Hodnota
Mez kluzu	f_y	235 MPa
Mez pevnosti	f_u	360 MPa

Tabulka 57 Dílčí součinitele spolehlivosti

γ_{M0}	1
γ_{M1}	1
γ_{M2}	1,25

3.11.1 Posouzení rámové příčle

Pro ruční výpočet byla vybrána druhá příčel krytého skladiště.



Obr. 57 IPE 330 [19]

Tabulka 58 Průřezové charakteristiky IPE 330 [19]

IPE 330	
$G = 49,1 \text{ kg/m}$	
Rozměry	Průřezové charakteristiky
$h = 330 \text{ mm}$	$A = 6260 \text{ mm}^2$
$b = 160 \text{ mm}$	$A_{vz} = 3080 \text{ mm}^2$
$t_w = 7,5 \text{ mm}$	$W_{el,y} = 7,13 \cdot 10^5 \text{ mm}^3$
$t_f = 11,5 \text{ mm}$	$W_{el,z} = 9,85 \cdot 10^4 \text{ mm}^3$
$h_w = 271 \text{ mm}$	$W_{pl,y} = 8,04 \cdot 10^5 \text{ mm}^3$
$e_z = 165 \text{ mm}$	$I_y = 1,18 \cdot 10^8 \text{ mm}^4$
$e_y = 80 \text{ mm}$	$I_z = 7,88 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$
	$I_t = 2,82 \cdot 10^5 \text{ mm}^4$
	$I_w = 1,99 \cdot 10^{11} \text{ mm}^6$

Mezní stav únosnosti (MSÚ) - rámový roh

Posouzení v místě rámového rohu na záporný moment.

Vnitřní síly

$$M_{Ed} = -28,65 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed} = -21,38 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = -46,44 \text{ kN}$$

Výsledné vnitřní síly jsou zobrazené v příloze č. 11.

Zatřídění průřezu

Horní pás

$$\frac{c}{t_f} = \frac{61,25}{11,5} = 5,326 \leq 9 \cdot \varepsilon = 9 \cdot \sqrt{\frac{235}{235}} = 9 \rightarrow \text{průřez 1. třídy}$$

Stojina

$$\frac{c}{t_w} = \frac{271}{7,5} = 36,133 \leq 72 \cdot \varepsilon = 72 \cdot \sqrt{\frac{235}{235}} = 72 \rightarrow \text{průřez 1. třídy}$$

Namáhání smykem

Návrhová hodnota smykové síly

$$V_{Ed} = 46,44 \text{ kN}$$

Návrhová únosnost ve smyku

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot f_y}{\gamma_{M0} \cdot \sqrt{3}} = \frac{3080 \cdot 235}{1 \cdot \sqrt{3}} = 417,89 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{46,44}{417,89} = 0,11 \leq 1,0$$

Vyhovuje

$$\frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{46,44}{417,89} = 0,11 \leq 1,0$$

Malý smyk \rightarrow bez redukce únosnosti v ohybu

Namáhání ohybem

Návrhová hodnota ohybového momentu

$$M_{Ed} = 28,65 \text{ kNm}$$

Návrhová únosnost v ohybu

$$M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{8,04 \cdot 10^5 \cdot 235}{1,0} = 188,94 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{pl,Rd}} = \frac{28,65}{188,94} = 0,15 \leq 1,0$$

Vyhovuje

Posouzení na vzpěrný tlak s ohybem

Vzpěrné délky

$$L_{cr,y} = 8,668 \text{ m}$$

$$L_{cr,z} = 5,370 \text{ m}$$

Srovnávací štíhlost

$$\lambda_1 = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 93,913$$

Vybočení k ose y

Kritická štíhlost

$$\lambda_y = L_{cr,y} \cdot \sqrt{\frac{A}{I_y}} = 63,224$$

Poměrná štíhlost

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = 0,673$$

$\alpha = 0,21 \rightarrow$ *křivka vzpěrnosti a*

$$\phi_y = \frac{1}{2} \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2] = 0,776$$

Součinitel vzpěrnosti

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = 0,860 \leq 1,0$$

Vybočení k ose z

Kritická štíhlost

$$\lambda_z = L_{cr,z} \cdot \sqrt{\frac{A}{I_z}} = 151,268$$

Poměrná štíhlost

$$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = 1,611$$

$\alpha = 0,34 \rightarrow$ *křivka vzpěrnosti b*

$$\phi_z = \frac{1}{2} \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2] = 2,037$$

Součinitel vzpěrnosti

$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = 0,305 \leq 1,0$$

$$\chi = \min(\chi_y; \chi_z) = \min(0,860; 0,305) = 0,305$$

Návrhová únosnost

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,305 \cdot 6260 \cdot 235}{1,0} = 447,21 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{22,14}{447,21} = 0,05 \leq 1,0$$

Vyhovuje

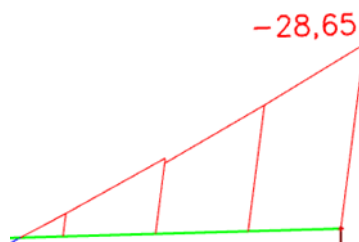
Klopení

$$L_{LT} = 0,685 \cdot 1,1 = 0,754 \text{ m}$$

$$k_w = 1,0$$

$$k_z = 1,0$$

$$\psi = 0$$



Obr. 58 Momentový obrazec

Bezrozměrný parametr kroucení

$$k_{wt} = \frac{\pi}{k_w \cdot L} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_w}{G \cdot I_t}} = 5,636$$

Součinitel vlivu zatížení

$$C_{1,0} = 1,77$$

$$C_{1,1} = 1,85$$

$$C_1 = C_{1,0} + (C_{1,1} - C_{1,0}) \cdot k_{wt} = 2,22$$

Bezrozměrný kritický moment

$$\mu_{cr} = \frac{C_1}{k_z} = \left[\sqrt{1 + k_{wt}^2} \right] = 12,707$$

Pružný kritický moment

$$M_{cr} = \mu_{CR} \cdot \frac{\pi \cdot \sqrt{E \cdot I_z \cdot G \cdot I_t}}{L_{LT}} = 10293,20 \text{ kNm}$$

Poměrná štíhlost při klopení

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{W_{y,el} \cdot f_y / M_{cr}} = 0,128$$

$$\frac{h}{b} = \frac{330}{160} = 2,06 \geq 2,0 \rightarrow \alpha_{LT} \rightarrow \text{křivka vzpěrnosti b}$$

$$\phi_{LT} = 0,5 \cdot (1 + \alpha_{LT} \cdot (\bar{\lambda}_{LT} - 0,2) + \bar{\lambda}_{LT}^2) = 0,496$$

Součinitel klopení

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}} = 1,03 \leq 1,0 \rightarrow 1,0$$

Součinitel ekvivalentního konstantního momentu při klopení

$$C_{mLT} = 0,6 + 0,4 \cdot \Psi = 0,6 \geq 0,4 \rightarrow 0,6$$

$$\Psi = 0$$

$$C_{my} = 0,6 + 0,4 \cdot \Psi = 0,6 \geq 0,4 \rightarrow 0,6$$

Součinitel interakce

$$k_{yy} = \min \left\{ \begin{array}{l} C_{my} \cdot \left(1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \\ C_{my} \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \end{array} \right\} = \min \{0,603\} = 0,603$$

$$k_{zy} = \max \left\{ \begin{array}{l} \left(1 - \frac{0,1 \cdot \bar{\lambda}_z}{(C_{mLT} - 0,25)} \cdot \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \\ \left(1 - \frac{0,1}{(C_{mLT} - 0,25)} \cdot \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \end{array} \right\} = \max \{0,978\} = 0,986$$

Podmínka spolehlivosti

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\frac{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} = 0,120 \leq 1,0$$

Vyhovuje

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\frac{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} = 0,216 \leq 1,0$$

Vyhovuje

Mezní stav únosnosti (MSÚ) - v poli

Posouzení v poli pro kladný moment.

Kladný moment v poli byl posouzen na klopení - výpočet je na konzervativní straně.

Vnitřní síly

$$M_{Ed} = 63,48 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed} = -15,49 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = 11,25 \text{ kN}$$

Namáhání smykem

Návrhová hodnota smykové síly

$$V_{Ed} = 11,25 \text{ kN}$$

Návrhová únosnost ve smyku

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot f_y}{\gamma_{M0} \cdot \sqrt{3}} = \frac{3080 \cdot 235}{1 \cdot \sqrt{3}} = 417,89 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{11,25}{417,89} = 0,03 \leq 1,0$$

Vyhovuje

$$\frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{11,25}{417,89} = 0,03 \leq 1,0$$

Malý smyk \rightarrow bez redukce únosnosti v ohybu

Namáhání ohybem

$$M_{Ed} = 63,48 \text{ kNm}$$

Návrhová únosnost v ohybu

$$M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{8,04 \cdot 10^5 \cdot 235}{1,0} = 188,94 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{pl,Rd}} = \frac{63,48}{188,94} = 0,34 \leq 1,0$$

Vyhovuje

Posouzení na vzpěrný tlak s ohybem

Vzpěrné délky

$$L_{cr,y} = 8,668 \text{ m}$$

$$L_{cr,z} = 5,370 \text{ m}$$

Srovnávací štíhlost

$$\lambda_1 = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 93,913$$

Vybočení k ose y

Kritická štíhlost

$$\lambda_y = L_{cr,y} \cdot \sqrt{\frac{A}{I_y}} = 63,224$$

Poměrná štíhlost

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = 0,673$$

$\alpha = 0,21 \rightarrow$ *křivka vzpěrnosti a*

$$\phi_y = \frac{1}{2} \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2] = 0,776$$

Součinitel vzpěrnosti

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = 0,860 \leq 1,0$$

Vybočení k ose z

Kritická štíhlost

$$\lambda_z = L_{cr,z} \cdot \sqrt{\frac{A}{I_z}} = 151,268$$

Poměrná štíhlost

$$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = 1,611$$

$\alpha = 0,34 \rightarrow$ *křivka vzpěrnosti b*

$$\phi_z = \frac{1}{2} \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2] = 2,037$$

Součinitel vzpěrnosti

$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = 0,305 \leq 1,0$$

$$\chi = \min(\chi_y; \chi_z) = \min(0,860; 0,305) = 0,305$$

Návrhová únosnost

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,305 \cdot 6260 \cdot 235}{1,0} = 447,21 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{22,14}{447,21} = 0,05 \leq 1,0$$

Vyhovuje

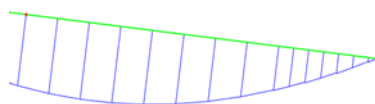
Klopení

$$L_{LT} = 4,6 \cdot 1,1 = 5,06 \text{ m}$$

$$k_w = 1,0$$

$$k_z = 1,0$$

$$\psi = 1$$



Obr. 59 Momentový obrazec

Do výpočtu byl vzat obrazec (viz Obr. 60).



Obr. 60 Momentový obrazec

Bezrozměrný parametr kroucení

$$k_{wt} = \frac{\pi}{k_w \cdot L} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_w}{G \cdot I_t}} = 0,840$$

Součinitel vlivu zatížení

$$C_{1,0} = 1,0$$

$$C_{1,1} = 1,0$$

$$C_1 = C_{1,0} + (C_{1,1} - C_{1,0}) \cdot k_{wt} = 1,0$$

Bezrozměrný kritický moment

$$\mu_{cr} = \frac{C_1}{k_z} = \left[\sqrt{1 + k_{wt}^2} \right] = 1,306$$

Pružný kritický moment

$$M_{cr} = \mu_{CR} \cdot \frac{\pi \cdot \sqrt{E \cdot I_z \cdot G \cdot I_t}}{L_{LT}} = 157,627 \text{ kNm}$$

Poměrná štíhlost při klopení

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{W_{y,el} \cdot f_y / M_{cr}} = 1,031$$

$$\frac{h}{b} = \frac{330}{160} = 2,06 \geq 2,0 \rightarrow \alpha_{LT} \rightarrow \text{křivka vzpěrnosti b}$$

$$\phi_{LT} = 0,5 \cdot (1 + \alpha_{LT} \cdot (\bar{\lambda}_{LT} - 0,2) + \bar{\lambda}_{LT}^2) = 1,173$$

Součinitel klopení

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}} = 0,577 \leq 1,0 \rightarrow 0,577$$

Součinitel ekvivalentního konstantního momentu při klopení

$$C_{mLT} = 0,6 + 0,4 \cdot \Psi = 1,0 \geq 0,4 \rightarrow 1,0$$

$$\Psi = 1$$

$$C_{my} = 0,6 + 0,4 \cdot \Psi = 1,0 \geq 0,4 \rightarrow 1,0$$

Součinitel interakce

$$k_{yy} = \min \left\{ \begin{array}{l} C_{my} \cdot \left(1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \\ C_{my} \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \end{array} \right\} = \min \{1,004\} = 1,004$$

$$k_{zy} = \max \left\{ \begin{array}{l} \left(1 - \frac{0,1 \cdot \bar{\lambda}_z}{(C_{mLT} - 0,25)} \cdot \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \\ \left(1 - \frac{0,1}{(C_{mLT} - 0,25)} \cdot \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \end{array} \right\} = \max \{0,993\} = 0,993$$

Podmínka spolehlivosti

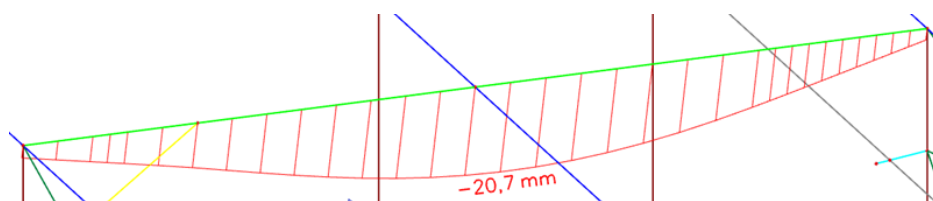
$$\frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\frac{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} = 0,671 \leq 1,0$$

Vyhovuje

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\frac{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} = 0,688 \leq 1,0$$

Vyhovuje

Mezní stav použitelnosti (MSP)



Obr. 61 Výsledný průhyb příčle

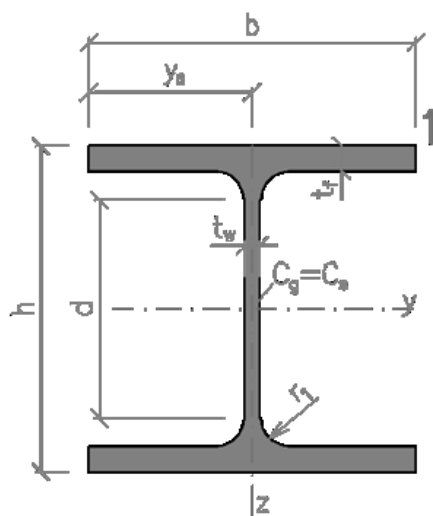
$$f_{celk} = 20,7 \text{ mm} \leq f_{lim} = \frac{L}{250} = \frac{10740}{250} = 42,96 \text{ mm}$$

Vyhovuje

3.11.2 Posouzení sloupu

Pro ruční výpočet byl vybrán Sloup 2. Konkrétně druhý sloup krytého skladiště.

Tabulka 59 Průřezové charakteristiky HEA 260 [19]



Obr. 62 HEA 260 [19]

HEA 260	
$G = 68,2 \text{ kg/m}$	
Rozměry	Průřezové charakteristiky
$h = 250 \text{ mm}$	$A = 8882 \text{ mm}^2$
$b = 260 \text{ mm}$	$A_{vz} = 2880 \text{ mm}^2$
$t_w = 7,5 \text{ mm}$	$W_{el,y} = 8,36 \cdot 10^5 \text{ mm}^3$
$t_f = 12,5 \text{ mm}$	$W_{el,z} = 2,82 \cdot 10^5 \text{ mm}^3$
$h_w = 177 \text{ mm}$	$W_{pl,y} = 9,20 \cdot 10^5 \text{ mm}^3$
$e_z = 125 \text{ mm}$	$I_y = 1,04 \cdot 10^8 \text{ mm}^4$
$e_y = 130 \text{ mm}$	$I_z = 3,67 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$
	$I_t = 5,24 \cdot 10^5 \text{ mm}^4$
	$I_w = 5,16 \cdot 10^{11} \text{ mm}^6$

Mezní stav únosnosti (MSÚ)

Vnitřní síly

$$M_{Ed} = 103,19 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed} = -161,2 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = -31,46 \text{ kN}$$

Výsledné vnitřní síly jsou zobrazené v příloze č. 12.

Zatřídění průřezu

Horní pás

$$\frac{c}{t_f} = \frac{106,25}{12,5} = 8,5 \leq 9 \cdot \varepsilon = 9 \cdot \sqrt{\frac{235}{235}} = 9 \rightarrow \text{průřez 1. třídy}$$

Stojina

$$\frac{c}{t_w} = \frac{177}{7,5} = 23,6 \leq 72 \cdot \varepsilon = 72 \cdot \sqrt{\frac{235}{235}} = 72 \rightarrow \text{průřez 1. třídy}$$

Namáhání smykem

Návrhová hodnota smykové síly

$$V_{Ed} = 31,46 \text{ kN}$$

Návrhová únosnost ve smyku

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot f_y}{\gamma_{M0} \cdot \sqrt{3}} = \frac{2880 \cdot 235}{1 \cdot \sqrt{3}} = 390,75 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{31,46}{390,75} = 0,08 \leq 1,0$$

Vyhovuje

$$\frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{31,46}{390,75} = 0,08 \leq 1,0$$

Malý smyk \rightarrow bez redukce únosnosti v ohybu

Namáhání ohybem

Návrhová hodnota ohybového momentu

$$M_{Ed} = 103,19 \text{ kNm}$$

Návrhová únosnost v ohybu

$$M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{9,2 \cdot 10^5 \cdot 235}{1,0} = 216,2 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{pl,Rd}} = \frac{103,19}{216,2} = 0,48 \leq 1,0$$

Vyhovuje

Posouzení na vzpěrný tlak s ohybem

Vzpěrné délky

$$L_{cr,y} = \beta \cdot L_y = 2 \cdot 7,55 = 15,1 \text{ m}$$

$$L_{cr,z} = 6,04 \text{ m}$$

Srovnávací štíhlost

$$\lambda_1 = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 93,913$$

Vybočení k ose y

Kritická štíhlost

$$\lambda_y = L_{cr,y} \cdot \sqrt{\frac{A}{I_y}} = 137,648$$

Poměrná štíhlost

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = 1,466$$

$\alpha = 0,34 \rightarrow$ *křivka vzpěrnosti b*

$$\phi_y = \frac{1}{2} \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2] = 1,789$$

Součinitel vzpěrnosti

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = 0,355 \leq 1,0$$

Vybočení k ose z

Kritická štíhlost

$$\lambda_z = L_{cr,z} \cdot \sqrt{\frac{A}{I_z}} = 92,923$$

Poměrná štíhlost

$$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = 0,989$$

$\alpha = 0,49 \rightarrow$ *křivka vzpěrnosti c*

$$\phi_z = \frac{1}{2} \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2] = 1,197$$

Součinitel vzpěrnosti

$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = 0,546 \leq 1,0$$

$$\chi = \min(\chi_y; \chi_z) = \min(0,355; 0,546) = 0,355$$

Návrhová únosnost

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,355 \cdot 8882 \cdot 235}{1,0} = 740,98 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{161,2}{740,98} = 0,22 \leq 1,0$$

Vyhovuje

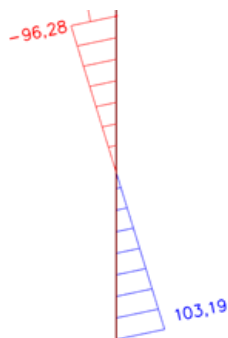
Klopení

$$L_{LT} = 6040 \text{ m}$$

$$k_w = 0,7 \rightarrow \text{bráněno deplanaci}$$

$$k_z = 1,0$$

$$\psi = -0,933$$



Obr. 63 Momentový obrazec

Bezrozměrný parametr kroucení

$$k_{wt} = \frac{\pi}{k_w \cdot L} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_w}{G \cdot I_t}} = 1,187$$

Součinitel vlivu zatížení

$$C_{1,0} = 2,557$$

$$C_{1,1} = 2,762$$

$$C_1 = C_{1,0} + (C_{1,1} - C_{1,0}) \cdot k_{wt} = 2,8$$

Bezrozměrný kritický moment

$$\mu_{cr} = \frac{C_1}{k_z} = \left[\sqrt{1 + k_{wt}^2} \right] = 4,346$$

Pružný kritický moment

$$M_{cr} = \mu_{CR} \cdot \frac{\pi \cdot \sqrt{E \cdot I_z \cdot G \cdot I_t}}{L_{LT}} = 408,874 \text{ kNm}$$

Poměrná štíhlost při klopení

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{W_{y,el} \cdot f_y / M_{cr}} = 0,693$$

$$\frac{h}{b} = \frac{250}{260} = 0,96 \leq 2,0 \rightarrow \alpha_{LT} \rightarrow \text{křivka vzpěrnosti } a$$

$$\phi_{LT} = 0,5 \cdot (1 + \alpha_{LT} \cdot (\bar{\lambda}_{LT} - 0,2) + \bar{\lambda}_{LT}^2) = 0,792$$

Součinitel klopení

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}} = 0,851 \leq 1,0 \rightarrow 0,851$$

Součinitel ekvivalentního konstantního momentu při klopení

$$C_{mLT} = 0,6 + 0,4 \cdot \Psi = 0,227 \geq 0,4 \rightarrow 0,4$$

$$\Psi = -0,933$$

$$C_{my} = 0,6 + 0,4 \cdot \Psi = 0,227 \geq 0,4 \rightarrow 0,4$$

Součinitel interakce

$$k_{yy} = \min \left\{ \begin{array}{l} C_{my} \cdot \left(1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \\ C_{my} \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \end{array} \right\} = \min \{0,561, 0,470\} = 0,470$$

$$k_{zy} = \max \left\{ \begin{array}{l} \left(1 - \frac{0,1 \cdot \bar{\lambda}_z}{(C_{mLT} - 0,25)} \cdot \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \\ \left(1 - \frac{0,1}{(C_{mLT} - 0,25)} \cdot \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \end{array} \right\} = \max \{0,907, 0,906\} = 0,907$$

Podmínka spolehlivosti

$$\frac{\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{yy} \cdot \frac{\frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}}}{\gamma_{M1}} = 0,507 \leq 1,0$$

Vyhovuje

$$\frac{\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{zy} \cdot \frac{\frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}}}{\gamma_{M1}} = 0,701 \leq 1,0$$

Vyhovuje

Mezní stav použitelnosti (MSP)



Obr. 64 Výsledný průhyb sloupu

$$f_{celk} = 20,0 \text{ mm} \leq f_{lim} = \frac{L}{150} = \frac{9045}{150} = 60,3 \text{ mm}$$

Vyhovuje

4 Návrh a posouzení vybraných spojů

Použité zdroje a literatura [6, 9, 19]

Tabulka 60 Charakteristické hodnoty oceli S 235

S 235	Značka	Hodnota
Mez kluzu	f_y	235 MPa
Mez pevnosti	f_u	360 MPa

Tabulka 61 Dílčí součinitele spolehlivosti

γ_{M0}	1
γ_{M1}	1
γ_{M2}	1,25

4.1 Patka

Průřez patky se posuzuje na kombinaci ohybu a smyku, na maximální hodnoty sil ze zatěžovacích stavů. Patka je navržena pro kryté skladiště a hlavní loď. Pro průřez patky byl navrhnut patní plech o rozměrech **20x420 mm** a dvěma válcovanými profily **UPN 180**.

Vetknutá patka byla posouzena na dvě kombinace zatížení:

1. Kombinace - největší ohybový moment s příslušnou posouvající silou
2. Kombinace - největší poměr ohybového momentu a normálové síly

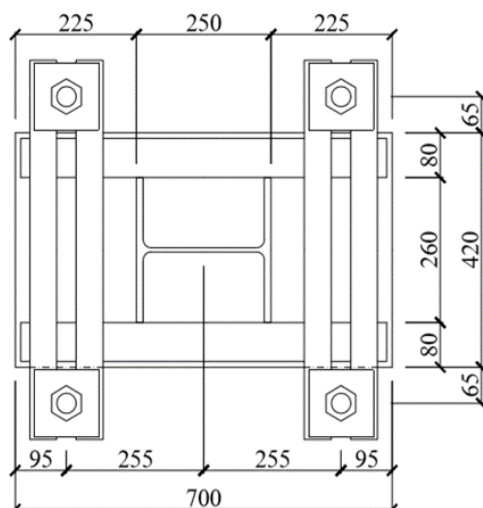
Síly působící na patku byly získány z programu SCIA Engineer 19.

Tabulka 62 Síly v patce

Kombinace	R _x [kN]	R _z [kN]	M _y [kNm]
1	31,46	163,81	103,23
2	-11,12	2,52	-45,92

Tabulka 63 Rekapitulace sil působících na patku

	1. Kombinace	2. Kombinace
N_{sd} [kN]	163,81	2,52
V_{sd} [kN]	31,46	11,12
M_{sd} [kNm]	103,23	45,92



Obr. 65 Půdorys patky

Tabulka 64 Vstupní hodnoty

	Značení	Hodnota	Jednotky
Délka patního plechu	a	700	mm
Šířka patního plechu	b	420	mm
Tloušťka patního plechu	t_p	20	mm
Vzdálenost kotevních šroubů od osy sloupu	r_l	255	mm

Výška podlití se stanovuje v rozmezí 10 – 20% z menšího rozměru patního plechu. Podlití bylo navrženo tloušťky 50 mm.

$$0,1 \cdot \min(800; 430) = 42 \text{ mm} < 50 \text{ mm}$$

$$0,2 \cdot \min(800; 430) = 84 \text{ mm} > 50 \text{ mm}$$

Tabulka 65 Vstupní hodnoty

	Značení	Hodnota	Jednotky
Délka betonové patky	A_{patka}	2000	mm
Šířka betonové patky	B_{patka}	1000	mm
Tloušťka betonové patky	h_{patka}	800	mm
Charakteristická válcová pevnost betonu v tlaku	f_{ck}	16	MPa

Započitatelné rozměry patky

$$a_1 = \min(A_{patka}; 5 \cdot a; a + h_{patka}; 5 \cdot b) = \min(2000; 5 \cdot 700; 700 + 800; 5 \cdot 420) = 1500 \text{ mm}$$

$$b_1 = \min(B_{patka}; 5 \cdot b; b + h_{patka}; 5 \cdot a) = \min(1000; 5 \cdot 420; 420 + 800; 5 \cdot 700) = 1000$$

Součinitel koncentrace napětí

Vliv vyšší únosnosti v tlaku

$$k_j = \sqrt{\frac{a_1 \cdot b_1}{a \cdot b}} = \sqrt{\frac{1500 \cdot 1000}{700 \cdot 420}} = 2,259 \geq 1,0$$

Součinitel vlivu podlití

$$\beta_j = \frac{2}{3} \rightarrow f_{md} \geq 0,2 \cdot f_{cd}$$

Návrhová pevnost betonu

$$f_{jd} = \frac{\beta_j \cdot k_j \cdot f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{\frac{2}{3} \cdot 2,259 \cdot 16}{1,5} = 16,062 \text{ MPa}$$

Funkční přesah desky

$$c = t_p \cdot \sqrt{\frac{f_y}{3 \cdot f_{jd} \cdot \gamma_{M0}}} = 20 \cdot \sqrt{\frac{235}{3 \cdot 16,062 \cdot 1,0}} = 44,167 \text{ mm}$$

Efektivní šířka patního plechu

$$b_{eff} = 2 \cdot b_{UPN180} + 2 \cdot c = 2 \cdot 80 + 2 \cdot 44,167 = 248,334 \text{ mm}$$

Výpočet sil do šroubu

Excentricita normálové síly.

$$e = \frac{M_{Ed}}{N_{Ed}}$$

Určení délky tlačené oblasti pod plechem se provádí pomocí momentové podmínky rovnováhy k působišti šroubů.

$$b_{eff} \cdot f_{jd} \cdot x^2 - b_{eff} \cdot f_{jd} \cdot (2 \cdot r_1 + a) \cdot x + 2 \cdot N_{sd} \cdot (e + r_1) = 0$$

$$x_{1,2} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4 \cdot a \cdot c}}{2 \cdot a}$$

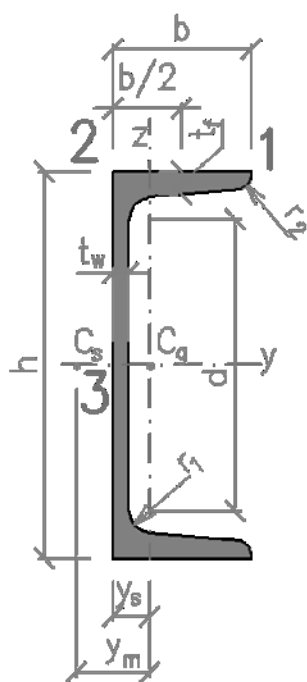
$$N_c = b_{eff} \cdot f_{jd} \cdot x$$

$$T = N_c - N_{sd}$$

Tabulka 66 Hodnoty pro zatěžovací stavy

	ZS1	ZS2
$N_{Ed} [kN]$	163,810	2,520
$M_{Ed} [kNm]$	103,230	-45,92
$e [m]$	0,630	-18,222
$x_1 [mm]$	1146,591	1228,480
$x_2 = x [mm]$	63,408	18,480
$N_c [kNm]$	252,926	73,713
$T [kN]$	89,116	71,193

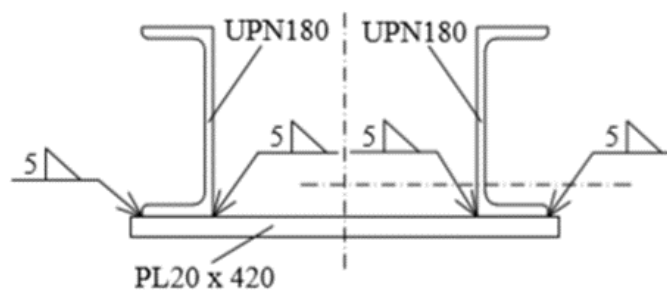
Posouzení průřezu patky



Obr. 66 UPN 180 [19]

Tabulka 67 Průřezové charakteristiky UPN 180 [19]

UPN 180	
$G = 22 \text{ kg/m}$	
Rozměry	Průřezové charakteristiky
$h = 180 \text{ mm}$	$A = 2800 \text{ mm}^2$
$b = 70 \text{ mm}$	$A_{vz} = 1510 \text{ mm}^2$
$t_w = 8 \text{ mm}$	$W_{el,y} = 1,5 \cdot 10^5 \text{ mm}^3$
$t_f = 11 \text{ mm}$	$W_{el,z1} = 2,24 \cdot 10^4 \text{ mm}^3$
$r_1 = 11 \text{ mm}$	$W_{el,z2} = 5,88 \cdot 10^4 \text{ mm}^3$
$r_2 = 5,5 \text{ mm}$	$W_{pl,y} = 1,79 \cdot 10^5 \text{ mm}^3$
$y_s = 19,3 \text{ mm}$	$W_{pl,z} = 4,25 \cdot 10^4 \text{ mm}^3$
$y_m = 38 \text{ mm}$	$I_y = 1,35 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$
$d = 133,4 \text{ mm}$	$I_z = 1,13 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$
	$I_t = 9,95 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$
	$I_w = 5,59 \cdot 10^9 \text{ mm}^6$



Obr. 67 Posuzovaný průřez patky

Tabulka 68 Průřezové charakteristiky patky

Profil	A [mm ²]	z_i [mm]	$I_{y,i}$ [mm ⁴]	$A \cdot z_i$ [mm ³]	$A \cdot (z_i - z_t)^2$ [mm ⁴]
Patní plech	8400	10	$2,800 \cdot 10^5$	$8,400 \cdot 10^4$	$1,344 \cdot 10^7$
UPN180	2800	110	$1,350 \cdot 10^7$	$3,080 \cdot 10^5$	$1,008 \cdot 10^7$
UPN180	2800	110	$1,350 \cdot 10^7$	$3,080 \cdot 10^5$	$1,008 \cdot 10^7$
Σ	14000		$2,728 \cdot 10^7$	$7,000 \cdot 10^5$	$3,360 \cdot 10^7$

Vzdálenost těžiště

$$z_t = \frac{\sum A_i \cdot z_i}{\sum A} = \frac{7,000 \cdot 10^5}{14000} = 50,0 \text{ mm}$$

Moment setrvačnosti svařovaného průřezu

$$I_y = \sum \left((I_{y,i} + A \cdot (z_i - z_t)^2) \right) = (2,728 \cdot 10^7 + 3,360 \cdot 10^7) = 6,088 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$$

Průřezový modul k horním vláknům

$$W_{y,el,h} = \frac{I_y}{t_p + h_{UPN180} - z_t} = \frac{6,088 \cdot 10^7}{20 + 180 - 50,0} = 4,059 \cdot 10^5 \text{ mm}^3$$

Průřezový modul k dolním vláknům

$$W_{y,el,d} = \frac{I_y}{z_t} = \frac{6,088 \cdot 10^7}{50,0} = 1,218 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$

Vnitřní síly

Tlačená část patky

$$M_p = N_c \cdot \left(c - \frac{x}{2} \right) = 252,926 \cdot \left(225 - \frac{63,408}{2} \right) = 48,890 \text{ kNm}$$

$$V_p = N_c = 252,926 \text{ kN}$$

Tažená část patky

$$M_L = T \cdot (c - 95) = 89,116 \cdot (225 - 95) = 11,585 \text{ kNm}$$

$$V_L = T = 89,116 \text{ kN}$$

Maximální napětí v horních vláknech

$$\sigma_{h,max} = \frac{M_p}{W_{y,el,h}} = \frac{48,89 \cdot 10^6}{4,059 \cdot 10^5} = 120,457 \text{ MPa}$$

$$\frac{f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{235}{1,0} = 235 \text{ MPa}$$

$$\frac{\sigma_{h,max}}{\frac{f_y}{\gamma_{M0}}} = \frac{120,457}{235} = 0,513 \leq 1,0$$

Vyhovuje

$$\tau_{max} = \frac{V_p}{A_{vz}} = \frac{252,926}{1,510 \cdot 2} = 83,806 \text{ MPa}$$

$$\frac{f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{235}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = 135,677 \text{ MPa}$$

$$\frac{\tau_{max}}{\frac{f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}}} = \frac{83,806}{135,677} = 0,618 \leq 1,0$$

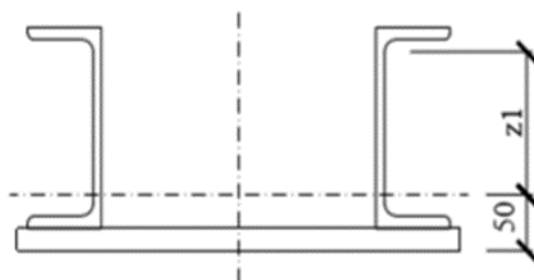
Vyhovuje

$$\tau_{max} = \frac{2 \cdot V_p}{A_{vz}} = \frac{2 \cdot 252,926}{1,510 \cdot 2} = 167,612 \text{ MPa}$$

$$\frac{f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{235}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = 135,677 \text{ MPa}$$

$$\frac{\tau_{max}}{\frac{f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}}} = \frac{167,612}{135,677} = 1,235 \leq 1,0$$

Velký smyk



Obr. 68 Určení vzdálenosti z_1

$$z_1 = h + t_p - z_t = 180 + 20 - 50 = 150 \text{ mm}$$

$$\sigma_2 = \frac{M_p}{I_y} \cdot z_2 = \frac{48,89 \cdot 10^6}{6,088 \cdot 10^7} \cdot 150 = 120,458 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_2^2 + 3 \cdot \tau_{max}^2} = \sqrt{120,458^2 + 3 \cdot 83,806^2} = 188,628 \text{ MPa}$$

$$\frac{f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{235}{1,0} = 235 \text{ MPa}$$

$$\frac{\sqrt{\sigma_2^2 + 3 \cdot \tau_{max}^2}}{\frac{f_y}{\gamma_{M0}}} = \frac{188,628}{235} = 0,803 \leq 1,0$$

Vyhovuje

Připojení podélných výztuh

Podélné výztuhy jsou k patnímu plechu přivařeny pomocí koutových svarů, ty se posoudí v lici sloupu a na konci patky.

Délka svaru

$$l = 680 \text{ mm}$$

Výška svarů

$$a_w = 5 \text{ mm}$$

Plocha svarů

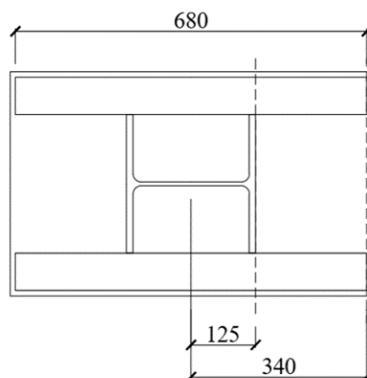
$$A_{we} = 4 \cdot a \cdot l = 4 \cdot 5 \cdot 680 = 13600 \text{ mm}^2$$

Moment setrvačnosti svarů

$$I_{we} = 4 \cdot \frac{1}{12} \cdot a \cdot l^3 = 4 \cdot \frac{1}{12} \cdot 5 \cdot 680^3 = 5,241 \cdot 10^8 \text{ mm}^4$$

Statický moment

$$S_{f,y} = b \cdot t_p \cdot \left(z_d - \frac{t_p}{2} \right) = 420 \cdot 20 \cdot \left(50 - \frac{20}{2} \right) = 3,360 \cdot 10^5 \text{ mm}^3$$



Obr. 69 Umístění řezů 1 a 2

Řez 1

$$\tau_{\parallel} = \frac{V_{Ed}}{A_{we}} + \frac{V_p \cdot S_{fy}}{I_y \cdot 4 \cdot a_w} = \frac{31,46}{13600} + \frac{252,926 \cdot 3,360 \cdot 10^5}{6,088 \cdot 10^7 \cdot 4 \cdot 5} = 72,109 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{we} = \frac{N_{Ed}}{A_{we}} + \frac{M_{Ed}}{I_{we}} \cdot x_i = \frac{163,81}{13600} + \frac{103,23}{5,241 \cdot 10^8} \cdot 125 = 36,668 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{\sigma_{we}}{\sqrt{2}} = \frac{36,668}{\sqrt{2}} = 25,928 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{(\sigma_{we}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2))} = \sqrt{(36,668^2 + 3 \cdot (25,928^2 + 72,109^2))} = 135,234 \text{ MPa}$$

$$\frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{360}{0,8 \cdot 1,25} = 360 \text{ MPa}$$

$$\frac{\sqrt{(\sigma_{we}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2))}}{\frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}} = \frac{135,234}{360} = 0,376 \leq 1,0$$

Vyhovuje

Řez 2

$$\tau_{\parallel} = \frac{V_{Ed}}{A_{we}} = \frac{31,46}{13600} = 2,313 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{we} = \frac{N_{Ed}}{A_{we}} + \frac{M_{Ed}}{I_{we}} \cdot x_i = \frac{163,81}{13600} + \frac{103,23}{5,241 \cdot 10^8} \cdot 340 = 80,989 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{\sigma_{we}}{\sqrt{2}} = \frac{80,989}{\sqrt{2}} = 57,268 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{(\sigma_{we}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2))} = \sqrt{(80,989^2 + 3 \cdot (57,268^2 + 2,313^2))} = 114,606 \text{ MPa}$$

$$\frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{360}{0,8 \cdot 1,25} = 360 \text{ MPa}$$

$$\frac{\sqrt{(\sigma_{we}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2))}}{\frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}} = \frac{114,606}{360} = 0,318 \leq 1,0$$

Vyhovuje

Kotevní šrouby

$$T_1 = \frac{T_{max}}{2} = \frac{89,116}{2} = 44,558 \text{ kN}$$

$$N_{t,sd,max} = \frac{T_1 \cdot 0,145 + T_1 \cdot 0,420}{0,565} = \frac{44,558 \cdot 0,145 + 44,558 \cdot 0,420}{0,565} = 44,558 \text{ kN}$$

$$N_{t,sd,min} = 2 \cdot T_1 - N_{t,sd,max} = 2 \cdot 44,558 - 44,558 = 44,558 \text{ kN}$$

Tabulka 69 Kotevní šrouby M36x3

M36x3	Značení	Hodnota	Jednotky
Průměr dráku šroubu	d	36	mm
Tolerance v osazení šroubu	Δ	30	mm
Plocha jádra šroubu	A_s	865	mm^2

$$F_{t,Rd} = \frac{0,8 \cdot A_s \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,8 \cdot 865 \cdot 235}{1,0} = 162,620 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{t,sd,max}}{F_{t,Rd}} = \frac{44,558}{162,620} = 0,274 \leq 1,0$$

Vyhovuje

Návrhová pevnost betonu v otláčení

$$f_{od} = \frac{f_{ok}}{\gamma_c} = \frac{32}{1,5} = 21,3 \text{ MPa}$$

Návrhová pevnost betonu v tahu a soudržnosti

$$f_{td} = \frac{f_{tk}}{\gamma_c} = \frac{1,13}{1,5} = 0,75 \text{ MPa}$$

Účinná hlava šroubu s kotevní hlavou

$$A_{kot.hl.} = 0,8 \cdot A_s \cdot \frac{0,8 \cdot f_y}{\gamma_{M0} \cdot f_{od}} + \frac{\pi \cdot d^2}{4} = 0,8 \cdot 865 \cdot \frac{0,8 \cdot 235}{1,0 \cdot 21,3} + \frac{\pi \cdot 36^2}{4} = 7125,667 \text{ mm}^2$$

Účinná hloubka šroubu

$$\Delta h = \left(\frac{4 \cdot A_{kot.hl.}}{\pi \cdot d^2} - 1 \right) \cdot \frac{f_{od} \cdot d}{4 \cdot f_{td}} = \left(\frac{4 \cdot 7125,667}{\pi \cdot 36^2} - 1 \right) \cdot \frac{21,3 \cdot 36}{4 \cdot 0,75} = 1533,735 \text{ mm}$$

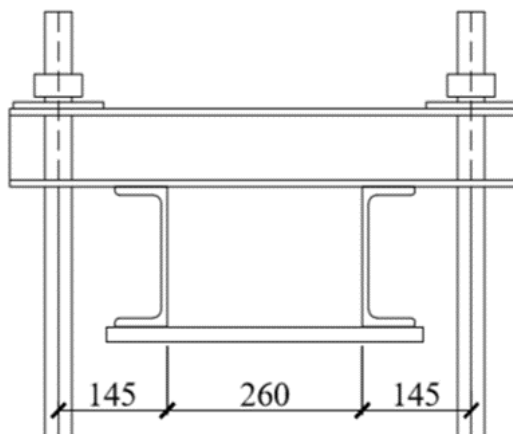
Minimální hloubka zabetonování

$$h_{min} = \frac{0,2 \cdot N_{t,sd,max}}{\pi \cdot d \cdot f_{td}} = \frac{0,2 \cdot 44,558}{\pi \cdot 35 \cdot 0,75} = 0,108 \text{ m}$$

$$h_{min} = 108,063 \text{ mm} \leq \Delta h = 1533,735 \text{ mm}$$

Vyhovuje

Kotevní příčník



Obr. 70 Umístění kotevního příčníku

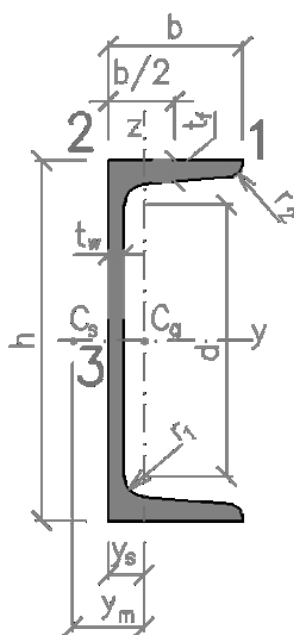
Vnitřní síly

$$M_{ad} = N_{t,sd,min} \cdot l_1 = 44,558 \cdot 0,145 = 6,461 \text{ kNm}$$

$$V_{ad} = N_{t,sd,min} = 44,558 \text{ kN}$$

$$M_{bd} = N_{t,sd,max} \cdot l_2 = 44,558 \cdot 0,145 = 6,461 \text{ kNm}$$

$$V_{bd} = N_{t,sd,max} = 44,558 \text{ kN}$$



Obr. 71 UPN100 [19]

Tabulka 70 Průřezové charakteristiky UPN100 [19]

UPN 100	
$G = 10,6 \text{ kg/m}$	
Rozměry	Průřezové charakteristiky
$h = 100 \text{ mm}$	$A = 1350 \text{ mm}^2$
$b = 50 \text{ mm}$	$A_{vz} = 646 \text{ mm}^2$
$t_w = 6 \text{ mm}$	$W_{el,y} = 4,11 \cdot 10^4 \text{ mm}^3$
$t_f = 8,5 \text{ mm}$	$W_{el,z1} = 8,45 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$
$r_1 = 8,5 \text{ mm}$	$W_{el,z2} = 1,88 \cdot 10^4 \text{ mm}^3$
$r_2 = 4,5 \text{ mm}$	$W_{pl,y} = 4,90 \cdot 10^4 \text{ mm}^3$
$y_s = 15,5 \text{ mm}$	$W_{pl,z} = 1,62 \cdot 10^4 \text{ mm}^3$
$y_m = 29,7 \text{ mm}$	$I_y = 2,05 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$
$d = 64,3 \text{ mm}$	$I_z = 2,91 \cdot 10^5 \text{ mm}^4$
	$I_t = 2,91 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$
	$I_w = 4,17 \cdot 10^8 \text{ mm}^6$

$$W_{y,pl} = 2 \cdot UPN100 = 2 \cdot 4,9 \cdot 10^4 \text{ mm}^3$$

$$A_v = 2 \cdot UPN100 = 2 \cdot 646 = 1292 \text{ mm}^2$$

Smyk

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot f_y}{\gamma_{M0} \cdot \sqrt{3}} = \frac{1292 \cdot 235}{1 \cdot \sqrt{3}} = 175,295 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{ad}}{V_{pl,Rd}} = \frac{44,558}{175,295} = 0,254$$

Vyhovuje

$$\frac{V_{ad}}{V_{pl,Rd}} = \frac{44,558}{175,295} = 0,254 \leq 0,5$$

Malý smyk → bez redukce únosnosti v ohybu

Přenos vodorovné posouvající síly do betonové patky

Rozhoduje kombinace s největší vodorovnou silou při co nejmenší svislé reakci a momentu v patce.

$$V_{Ed} = 11,12 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} = 2,52 \text{ kN}$$

$$N_c = 73,713 \text{ kN}$$

$\mu = 0,2 \rightarrow$ součinitel tření mezi betonem a ocelí

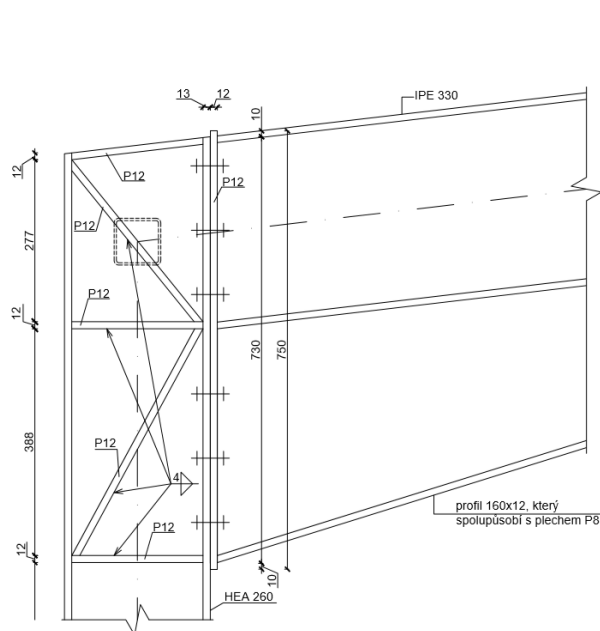
$$\mu \cdot N_c = 0,2 \cdot 73,713 = 14,743 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{Ed}}{\mu \cdot N_c} = \frac{11,12}{14,743} = 0,754 \leq 1,0$$

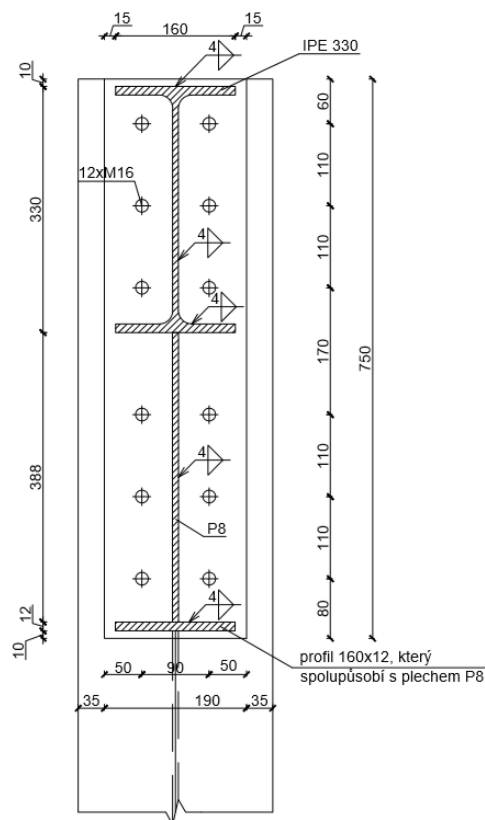
Vyhovuje

4.2 Rámový roh

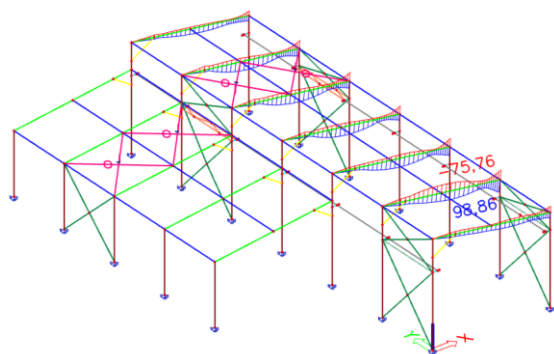
Rámový roh byl navržen pro hlavní loď a kryté skladiště na maximální vnitřní síly získané z programu SCIA Engineer 19.



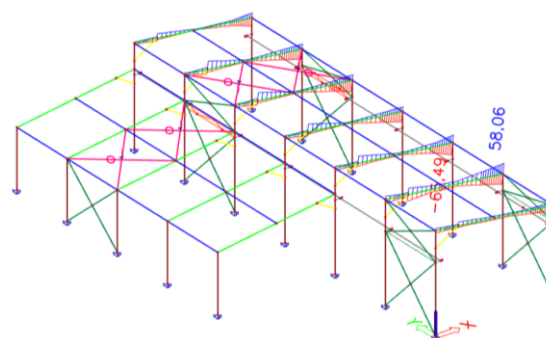
Obr. 72 Rámový roh



Obr. 73 Přípoj rámového rohu

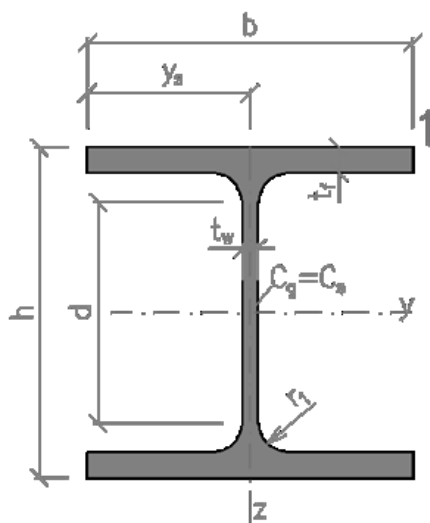


Obr. 74 Maximální ohybový moment – příčel 2 [kNm]



Obr. 75 Maximální posouvající síla – příčel 2 [kN]

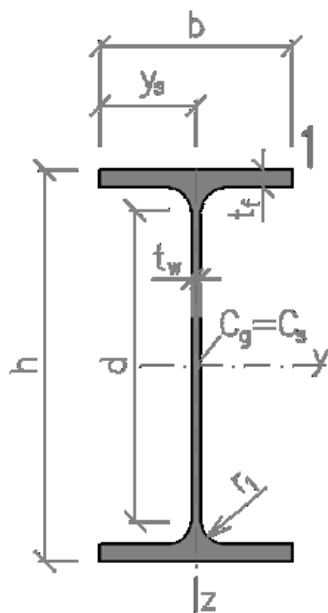
Tabulka 71 Průřezové charakteristiky HEA 260 [19]



Obr. 76 HEA 260 [19]

HEA 260	
$G = 68,2 \text{ kg/m}$	
Rozměry	Průřezové charakteristiky
$h = 250 \text{ mm}$	$A = 8882 \text{ mm}^2$
$b = 260 \text{ mm}$	$A_{vz} = 2880 \text{ mm}^2$
$t_w = 7,5 \text{ mm}$	$W_{el,y} = 8,36 \cdot 10^5 \text{ mm}^3$
$t_f = 12,5 \text{ mm}$	$W_{el,z} = 2,82 \cdot 10^5 \text{ mm}^3$
$r_I = 24 \text{ mm}$	$W_{pl,y} = 9,2 \cdot 10^5 \text{ mm}^3$
$y_s = 130 \text{ mm}$	$W_{pl,z} = 4,3 \cdot 10^5 \text{ mm}^3$
$h_w = 133,4 \text{ mm}$	$I_y = 1,04 \cdot 10^8 \text{ mm}^4$
$e_z = 125 \text{ mm}$	$I_z = 3,67 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$
$e_y = 130 \text{ mm}$	$I_t = 5,24 \cdot 10^5 \text{ mm}^4$
	$I_w = 5,16 \cdot 10^{11} \text{ mm}^6$

Tabulka 72 Průřezové charakteristiky IPE 330 [19]



Obr. 77 IPE 330 [19]

IPE 330	
$G = 49,1 \text{ kg/m}$	
Rozměry	Průřezové charakteristiky
$h = 330 \text{ mm}$	$A = 6260 \text{ mm}^2$
$b = 160 \text{ mm}$	$A_{vz} = 3080 \text{ mm}^2$
$t_w = 7,5 \text{ mm}$	$W_{el,y} = 7,13 \cdot 10^5 \text{ mm}^3$
$t_f = 11,5 \text{ mm}$	$W_{el,z} = 9,85 \cdot 10^4 \text{ mm}^3$
$r_I = 18 \text{ mm}$	$W_{pl,y} = 8,04 \cdot 10^5 \text{ mm}^3$
$y_s = 80 \text{ mm}$	$W_{pl,z} = 1,54 \cdot 10^5 \text{ mm}^3$
$h_w = 271 \text{ mm}$	$I_y = 1,18 \cdot 10^8 \text{ mm}^4$
$e_z = 165 \text{ mm}$	$I_z = 7,88 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$
$e_y = 80 \text{ mm}$	$I_t = 2,82 \cdot 10^5 \text{ mm}^4$
	$I_w = 1,99 \cdot 10^{11} \text{ mm}^6$

Vnitřní síly

Tabulka 73 Rekapitulace vnitřních sil

Obálka	Hodnoty
$N_{Ed} [kN]$	-39,31
$V_{Ed} [kN]$	-65,49
$M_{Ed} [kNm]$	98,86

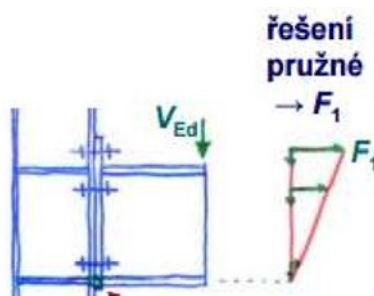
Ramena sil od osy pásnice náběhu ke šroubům

$$r_1 = 730 - 50 - \frac{12}{2} = 674 \text{ mm}$$

$$r_2 = 674 - 110 = 564 \text{ mm}$$

$$r_3 = 564 - 110 = 454 \text{ mm}$$

Návrh: Běžné šrouby (kategorie A), **M 16**, jakost 8.8



$$F_1 \cdot r_1 + F_2 \cdot r_2 + F_3 \cdot r_3 = M_{Ed}$$

$$F_2 = F_1 \cdot \frac{r_2}{r_1}$$

$$F_3 = F_1 \cdot \frac{r_3}{r_1}$$

$$F_1 \cdot 0,674 + F_1 \cdot \frac{0,564 \cdot 0,564}{0,674} + F_1 \cdot \frac{0,454 \cdot 0,454}{0,674} = 98,86$$

$$F_1 = 68,09 \text{ kN}$$

$$F_2 = 56,98 \text{ kN}$$

$$F_3 = 45,86 \text{ kN}$$

Výztuha stojiny sloupu

$$t_v = 12 \text{ mm} \approx t_f = 11,5 \text{ mm} - \text{tl. pásnice příčle}$$

Čelní deska

$$t_d = 12 \text{ mm} < t_f = 12,5 \text{ mm} - \text{tl. pásnice sloupu}$$

Výpočet únosnosti řady šroubů v tahu

Únosnost jednoho šroubu v tahu

$$F_{t,Rd} = \frac{0,9 \cdot A_s \cdot f_{ub}}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 157 \cdot 800}{1,25} = 90\,432 \text{ N}$$

Výpočet 1. řady šroubů

Stanovení únosnosti pásnice náhradního T – průřezu

$$c_1 = 0,8 \cdot a_w \cdot \sqrt{2} = 0,8 \cdot 4 \cdot \sqrt{2} = 6,53 \text{ mm}$$

$$m_2 = 38,5 - c_1 = 38,5 - 6,53 = 31,97 \text{ mm}$$

$$c_2 = 0,8 \cdot a_w \cdot \sqrt{2} = 0,8 \cdot 4 \cdot \sqrt{2} = 4,53 \text{ mm}$$

$$m = 41,25 - 4,53 = 36,72 \text{ mm}$$

$$\lambda_1 = \frac{m}{m + e} = \frac{36,72}{36,72 + 50} = 0,42$$

$$\lambda_2 = \frac{m_2}{m + e} = \frac{31,97}{36,72 + 50} = 0,37$$

$$\alpha = 6,8 \rightarrow \text{z grafu}$$

Výpočet efektivní šířky pro náhradní T - průřez pro řadu šroubů pod taženou pásnicí

Řada šroubů působí samostatně

Kruhové porušení

$$l_{eff,cp} = 2 \cdot \pi \cdot m = 2 \cdot \pi \cdot 36,72 = 230,72 \text{ mm}$$

Nekruhové porušení

$$l_{eff,nc} = \alpha \cdot m = 6,8 \cdot 36,72 = 249,70 \text{ mm}$$

Řada šroubů uvažována jako součást skupiny šroubů

Kruhové porušení

$$l_{eff,cp} = \pi \cdot m + p = \pi \cdot 36,72 + 110 = 225,36 \text{ mm}$$

Nekruhové porušení

$$l_{eff,nc} = 0,5 \cdot p + \alpha \cdot m - (2 \cdot m + 0,625 \cdot e) =$$

$$= 0,5 \cdot 110 + 6,8 \cdot 36,72 - (2 \cdot 36,72 + 0,625 \cdot 50) = 200,01 \text{ mm}$$

$$l_{eff,1} = \min(\min l_{eff,cp}; \min l_{eff,nc}) = \min(225,36; 200,01) = 200,01 \text{ mm}$$

$$l_{eff,2} = \min(l_{eff,nc}) = \min(249,70; 200,01) = 200,01 \text{ mm}$$

$$M_{pl,1,Rd} = 0,25 \cdot l_{eff,1} \cdot t_{fc}^2 \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 0,25 \cdot 200,01 \cdot 12^2 \cdot \frac{235}{1,0} = 16,92 \cdot 10^5 \text{ Nmm}$$

$$M_{pl,2,Rd} = 0,25 \cdot l_{eff,2} \cdot t_{fc}^2 \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 0,25 \cdot 200,01 \cdot 12^2 \cdot \frac{235}{1,0} = 16,92 \cdot 10^5 \text{ Nmm}$$

$$n = \min(e; 1,25 \cdot m) = (50; 1,25 \cdot 36,72 = 45,9) = 45,9 \text{ mm}$$

Návrhová únosnost řady šroubů pod taženou pásnicí

1. Porušení desky T-profilu - úplná plastifikace pásnice

$$F_{t,a,Rd} = \frac{4 \cdot M_{pl,1,Rd}}{m} = \frac{4 \cdot 16,92 \cdot 10^5}{36,72} = 184\,314 \text{ N}$$

2. Porušení desky T-profilu a šroubů - porušení šroubů a pásnice

$$F_{t,b,Rd} = \frac{2 \cdot M_{pl,2,Rd} + n \cdot \sum F_{t,Rd}}{m + n} = \frac{2 \cdot 16,92 \cdot 10^5 + 45,9 \cdot 90\,432}{36,72 + 45,9} = 91\,199 \text{ N}$$

3. Porušení šroubů

$$F_{t,c,Rd} = \sum F_{t,Rd} = 2 \cdot 90\,432 = 180\,864 \text{ N}$$

Únosnost 1. řady šroubů

$$F_{t,1,Rd} = \min(F_{t,a,Rd}; F_{t,b,Rd}; F_{t,c,Rd}) = \min(184\,314; 91\,199; 180\,864) = 91\,199 \text{ N}$$

$$F_{Rd} = 91,19 \text{ kN} > F_{Ed} = 68,09 \text{ kN}$$

Vyhovuje

Výpočet 2. řady šroubů

Stanovení únosnosti pásnice náhradního T – průřezu

$$m_2 = 110 \text{ mm}$$

$$c_2 = 0,8 \cdot a_w \cdot \sqrt{2} = 0,8 \cdot 4 \cdot \sqrt{2} = 4,53 \text{ mm}$$

$$m = 41,25 - 4,53 = 36,72 \text{ mm}$$

$$\lambda_1 = \frac{m}{m+e} = \frac{36,72}{36,72+50} = 0,42$$

$$\lambda_2 = \frac{m_2}{m+e} = \frac{110}{36,72+50} = 1,27$$

$$\alpha = 6 \rightarrow z \text{ grafu}$$

Výpočet efektivní šířky pro náhradní T - průřez pro vnitřní řadu šroubů

Řada šroubů působí samostatně

Kruhové porušení

$$l_{eff,cp} = 2 \cdot \pi \cdot m = 2 \cdot \pi \cdot 36,72 = 230,72 \text{ mm}$$

Nekruhové porušení

$$l_{eff,nc} = 4 \cdot m + 1,25 \cdot e = 4 \cdot 36,72 + 1,25 \cdot 50 = 209,38 \text{ mm}$$

Řada šroubů uvažována jako součást skupiny šroubů

Kruhové porušení

$$l_{eff,cp} = 2 \cdot p = 2 \cdot 110 = 220 \text{ mm}$$

Nekruhové porušení

$$l_{eff,nc} = p = 110 \text{ mm}$$

$$l_{eff,1} = \min(\min l_{eff,cp}; \min l_{eff,nc}) = \min(220; 110) = 110 \text{ mm}$$

$$l_{eff,2} = \min(l_{eff,nc}) = \min(209,38; 110) = 110 \text{ mm}$$

$$M_{pl,1,Rd} = 0,25 \cdot l_{eff,1} \cdot t_{fc}^2 \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 0,25 \cdot 110 \cdot 12^2 \cdot \frac{235}{1,0} = 93,06 \cdot 10^4 \text{ Nmm}$$

$$M_{pl,2,Rd} = 0,25 \cdot l_{eff,2} \cdot t_{fc}^2 \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 0,25 \cdot 110 \cdot 12^2 \cdot \frac{235}{1,0} = 93,06 \cdot 10^4 \text{ Nmm}$$

$$n = \min(e; 1,25 \cdot m) = (50; 1,25 \cdot 36,72 = 45,9) = 45,9 \text{ mm}$$

Návrhová únosnost řady šroubů pod taženou pásnicí

1. Porušení desky T-profilu - úplná plastifikace pásnice

$$F_{t,a,Rd} = \frac{4 \cdot M_{pl,1,Rd}}{m} = \frac{4 \cdot 93,06 \cdot 10^4}{36,72} = 101\,373 \text{ N}$$

2. Porušení desky T-profilu a šroubů - porušení šroubů a pásnice

$$F_{t,b,Rd} = \frac{2 \cdot M_{pl,2,Rd} + n \cdot \sum F_{t,Rd}}{m + n} = \frac{2 \cdot 93,06 \cdot 10^4 + 45,9 \cdot 90\,432}{36,72 + 45,9} = 72\,767\,N$$

3. Porušení šroubů

$$F_{t,c,Rd} = \sum F_{t,Rd} = 2 \cdot 90\,432 = 180\,864\,N$$

Únosnost 2. řady šroubů

$$F_{t,2,Rd} = \min(F_{t,a,Rd}; F_{t,b,Rd}; F_{t,c,Rd}) = \min(101\,373; 72\,767; 180\,864) = 72\,767\,N$$

$$F_{Rd} = 72,77\,kN > F_{Ed} = 56,98\,kN$$

Vyhovuje

Výpočet 3. řady šroubů

Výpočet 3. řady šroubů má stejnou únosnost jako 2. řada šroubů.

$$F_{t,3,Rd} = F_{t,2,Rd} = 72\,767\,N$$

$$F_{Rd} = 72,77\,kN > F_{Ed} = 45,86\,kN$$

Vyhovuje

Smyková únosnost přípoje

Únosnost jednoho šroubu ve stříhu - smyková rovina prochází závitem

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v \cdot A_s \cdot f_{ub}}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \cdot 157 \cdot 800}{1,25} = 60\,288\,N$$

Únosnost jednoho šroubu v otláčení

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot d \cdot t \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 1,0 \cdot 16 \cdot 12 \cdot 360}{1,25} = 138\,240\,N$$

$$\alpha_b = \min \left\{ \frac{\frac{e_1}{3 \cdot d_0}}{\frac{f_{ub}}{f_u}}, \frac{\frac{54,6}{3 \cdot 17}}{\frac{800}{360}} \right\} = \left\{ \frac{1,0}{1,0} \right\} = 1,0$$

$$k_1 = \left\{ 2,8 \cdot \frac{\frac{e_2}{d_0} - 1,7}{2,5}, \frac{50}{17} - 1,7 \right\} = \left\{ 2,5 \right\} = 2,5$$

Únosnost ve smyku

$$V_{Rd} = \min(F_{v,Rd}; F_{b,Rd}) = \min(60\,288; 138\,240) = 60\,288\,N$$

$$V_{Ed} = 65\,490\,N$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{Rd}} = \frac{65\,490}{12 \cdot 60\,288} = 0,09 \geq 1,0$$

Vyhovuje

Kombinace smyku a tahu

Pro nejvíc namáhaný šroub - horní 1. řada šroubů pod pásnicí

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4 \cdot F_{t,Rd}} \leq 1,0$$

$$F_{v,Ed} = \frac{65,49}{12} = 5,46\,kN$$

$$F_{v,Rd} = 60,29\,kN$$

$$F_{t,Ed} = \frac{M_{Ed} \cdot r_1}{\sum r_i^2} = \frac{98,86 \cdot 0,674}{0,674^2 + 0,564^2 + 0,454^2} = 68,09\,kN$$

→ pro jeden šroub 34,05 kN

$$F_{t,Rd} = 90,43\,kN$$

$$\frac{5,46}{60,29} + \frac{34,05}{1,4 \cdot 90,43} = 0,36 \leq 1,0$$

Vyhovuje

Svary čelních desek

Zjednodušený návrh - veškerý moment byl přisouzen svarům okolo pásnic

Návrh: koutový svar $a_w = 4\,mm$ na pásnicích a $a_w = 4\,mm$ na stojině

Svar okolo pásnice

$$M_{Ed} = 98,86\,kNm$$

$$N_f = \frac{M_{Ed}}{h} = \frac{98,86}{(730 - 11,5) \cdot 10^{-3}} = 137,59\,kN$$

Délka svaru okolo pásnice

$$l_{we} = 2 \cdot b - 2 \cdot R - t_w = 2 \cdot 160 - 2 \cdot 16 - 7,5 = 295,5 \text{ mm}$$

Napětí

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{N_f}{a_w \cdot l_{we}} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{137,59}{4 \cdot 10^{-3} \cdot 295,5 \cdot 10^{-3}} = 82,31 \text{ MPa}$$

Podmínka posouzení svaru

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} = \sqrt{82,31^2 + 3 \cdot (82,31^2 + 0^2)} = 164,62 \text{ MPa}$$

$$\frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{360}{0,9 \cdot 1,25} = 320 \text{ MPa}$$

$$\frac{\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)}}{\frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}} = \frac{164,42}{320} = 0,51 \leq 1,0$$

Vyhovuje

$$\sigma_{\perp} = 82,31 \text{ MPa}$$

$$\frac{f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{360}{1,25} = 288 \text{ MPa}$$

$$\frac{\sigma_{\perp}}{\frac{f_u}{\gamma_{M2}}} = \frac{82,31}{288} = 0,28 \leq 1,0$$

Vyhovuje

Svar stojiny k čelní desce

$$V_{Ed} = 65,49 \text{ kN}$$

Návrh: $a_w = 4 \text{ mm}$

$$\tau_{\parallel} = \frac{V_{Ed}}{2 \cdot a_w \cdot l} = \frac{65,49 \cdot 10^3}{2 \cdot 4 \cdot (730 - 2 \cdot 11,5 - 12)} = 11,78 \text{ MPa}$$

$$\frac{f_u}{\sqrt{3} \cdot \beta_w \cdot \gamma_{Mw}} = \frac{360}{\sqrt{3} \cdot 0,9 \cdot 1,25} = 184,75 \text{ MPa}$$

$$\frac{\tau_{\parallel}}{\frac{f_u}{\sqrt{3} \cdot \beta_w \cdot \gamma_{Mw}}} = \frac{11,78}{184,75} = 0,06 \leq 1,0$$

Vyhovuje

Posouzení stěny sloupu na smyk

$$V_{wp,Rd} = \frac{0,9 \cdot A_{vz} \cdot f_{yd}}{\sqrt{3}} = \frac{0,9 \cdot 2880 \cdot 235}{\sqrt{3}} = 351,68 \text{ kN}$$

$$V_{wp,Ed} = \frac{M_{Ed}}{h} = \frac{98,86 \cdot 10^6}{250} = 395,44 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{wp,Ed}}{V_{wp,Rd}} = \frac{395,44}{351,68} = 1,12 \geq 1,0$$

Nevyhovuje

Stěna sloupu nevyhoví na smyk, je třeba šikmá výztuha.

Návrh: Oboustranná šikmá výztuha **P12**, šířka **120 mm**

Výztuha musí přenést tlakovou sílu

$$V_{wp,Ed} - V_{wp,Rd} = 395,44 - 351,68 = 43,76 \text{ kN}$$

$$N_{b,Rd} = A \cdot f_{yd} \geq N_{Ed}$$

$$A = 2 \cdot 12 \cdot 120 = 2880 \text{ mm}$$

$$N_{b,Rd} = 2880 \cdot 235 = 676,8 \text{ kN}$$

$$\frac{43,76}{676,8} = 0,06 > 1,0$$

Vyhovuje

2x šikmá výztuha P12x120 vyhovuje.

Vodorovné výztuhy sloupu

Návrh: Oboustranná výztuha **2 · 120 = 240 mm**, u všech tří pásnic

Trojice vodorovných výztuh by měla být schopna přenést alespoň takový moment, jako pásnice sloupu.

$$M_{pl,Rd} = 240 \cdot t_s \cdot f_{yd} \cdot d_s = 240 \cdot t_s \cdot 235 \cdot 730 = 41,17 \cdot 10^6 \text{ ts Nmm}$$

Potřebná tloušťka výztuhy

$$t_s \geq \frac{A_f \cdot f_{yd} \cdot z_{min}}{41,17 \cdot 10^6} = \frac{260 \cdot 12,5 \cdot 235 \cdot 250}{41,17 \cdot 10^6} = 4,6 \text{ mm}$$

Návrh: **$t_s = 12 \text{ mm}$**

Koutové svary připojující výztuhy ke stojině

Návrh: koutový svar $a_w = 4 \text{ mm}$

$$V_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{d_s} = \frac{98,86}{0,730} = 135,43 \text{ kN}$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{V_{Ed}}{4 \cdot a_w \cdot (250 - 2 \cdot 12,5)} = \frac{135,43 \cdot 10^3}{4 \cdot 4 \cdot (250 - 2 \cdot 12,5)} = 37,62 \text{ MPa}$$

$$\frac{f_u}{\sqrt{3} \cdot \beta_w \cdot \gamma_{Mw}} = \frac{360}{\sqrt{3} \cdot 0,9 \cdot 1,25} = 184,75 \text{ MPa}$$

$$\frac{\tau_{\parallel}}{\frac{f_u}{\sqrt{3} \cdot \beta_w \cdot \gamma_{Mw}}} = \frac{37,62}{184,75} = 0,20 \geq 1,0$$

Vyhovuje

5 Závěr

Cílem diplomové práce bylo navrhnout a posoudit vybranou variantu nosné konstrukce ocelové haly s mostovým jeřábem a krytým skladištěm. Byl proveden předběžný statický výpočet na 2D výpočetním modelu, který byl následně rozšířen na 3D výpočetní model pro přesnější výsledky. Výsledné vnitřní síly pro hlavní a vedlejší loď vyšly podobné. Ve 3D výpočetním modelu jednotlivé prvky spolupůsobí a bylo zde uvažováno zatížení od větru v podélném směru (zepředu a zezadu), sání větru na štítové stěny od příčného větru a nejnepríznivější umístění jeřábu. Tato zatížení nemohla být u 2D výpočetního modelu zohledněna, proto u 3D výpočetního modelu vyšly u některých prvků (např. rámový roh – Příčel 2) rozdílné výsledky vnitřních sil, které byly větší. Navržená ocelová konstrukce je dostatečně únosná na běžné klimatické zatížení působící na objekt. Rovněž přenáší zatížení od mostového jeřábu. V práci byly navrženy a posouzeny vybrané spoje.

V příloze diplomové práce je výkresová dokumentace, která obsahuje půdorys haly, příslušné řezy a detaily. Dále je zhotoven výrobní výkres vybrané části nosné konstrukce.

Poděkování

Touto cestou bych chtěl poděkovat Ing. Miroslavu Rosmanitovi, Ph.D. za odborné rady, připomínky, skvělý přístup a věcné konzultace, které mi pomohly při vypracování předložené diplomové práce.

Seznam obrázků

<i>Obr. 1 Výrobní a skladovací hala v Mošnově</i>	14
<i>Obr. 2 Příklad příčné vazby s příhradovými vazníky a vetknutými sloupy, kde je použito alternativní řešení střešního pláště a stěn [11]</i>	15
<i>Obr. 3 Vodorovná proměnná zatížení</i>	16
<i>Obr. 4 Schéma mostového jeřábu</i>	17
<i>Obr. 5 Schéma podvěsného mostového jeřábu</i>	18
<i>Obr. 6 Schéma konzolového jeřábu</i>	18
<i>Obr. 7 Schéma portálového jeřábu</i>	18
<i>Obr. 8 Schéma kladkostroje</i>	19
<i>Obr. 9 Zemědělská skladovací hala s rámovou konstrukcí a jeřábovou drahou v Petřvaldě u Mošnova</i>	20
<i>Obr. 10 Statické schéma</i>	22
<i>Obr. 11 Průběh ohybových momentů od svislého spojitého zatížení na střeše (uvažován 1 kN/m)</i>	22
<i>Obr. 12 Statické schéma</i>	23
<i>Obr. 13 Průběh ohybových momentů od svislého spojitého zatížení na střeše (uvažován 1 kN/m)</i>	24
<i>Obr. 14 Statické schéma</i>	25
<i>Obr. 15 Průběh ohybových momentů od svislého spojitého zatížení na střeše (uvažován 1 kN/m)</i>	25
<i>Obr. 16 Základní schéma řešeného rámu</i>	26
<i>Obr. 17 Uspořádání zatížení při navátí [3]</i>	29
<i>Obr. 18 Legenda pro svislé stěny [4]</i>	33
<i>Obr. 19 Legenda pro pultové střechy [4]</i>	34
<i>Obr. 20 Umístění působíště síly pro pultové střechy [4]</i>	39
<i>Obr. 21 Schéma zatížení - podélný vítr zepředu</i>	42
<i>Obr. 22 Schéma zatížení - podélný vítr zezadu</i>	44
<i>Obr. 23 Střešní panel KS1000 RW [17]</i>	45
<i>Obr. 24 Stěnový panel KS1150 NF [17]</i>	46
<i>Obr. 25 Ilustrativní obrázek [5] - Maximální svislé zatížení</i>	51
<i>Obr. 26 Ilustrativní obrázek [5] - Minimální svislé zatížení</i>	51
<i>Obr. 27 Ilustrativní obrázek [5] - Vodorovné síly H_L, H_T</i>	51
<i>Obr. 28 Kolejnice</i>	53
<i>Obr. 29 Ilustrativní obrázek [5] - Příčení</i>	56
<i>Obr. 30 Skupina zatížení 1</i>	58
<i>Obr. 31 Skupina zatížení 5</i>	58
<i>Obr. 32 Skupina zatížení 6</i>	59
<i>Obr. 33 Postavení sil V_{max}</i>	59
<i>Obr. 34 Postavení sil M_{max}</i>	60
<i>Obr. 35 Podélné namáhání od zrychlení jeřábu</i>	62
<i>Obr. 36 Příčné namáhání od zrychlení jeřábu</i>	62
<i>Obr. 37 Příčné namáhání od příčení mostu jeřábu</i>	63
<i>Obr. 38 Příčné namáhání od zrychlení kočky</i>	63

<i>Obr. 39 HEA 300 [19]</i>	67
<i>Obr. 40 Kolejnice</i>	73
<i>Obr. 41 Lokální tlakové a smykové napětí pod kolovým zatížením</i>	74
<i>Obr. 42 Koncová výztuha</i>	76
<i>Obr. 43 HEB 180 [19]</i>	80
<i>Obr. 44 Základní případy vzpěrných délek [16]</i>	83
<i>Obr. 45 Statické schéma</i>	85
<i>Obr. 46 Schéma použitých profilů</i>	86
<i>Obr. 47 Průběh ohybových momentů - obálka [kNm]</i>	86
<i>Obr. 48 Průběh posouvající síly - obálka [kN]</i>	86
<i>Obr. 49 Průběh normálové síly - obálka [kN]</i>	87
<i>Obr. 50. Využití navržených profilů</i>	87
<i>Obr. 51. Výsledné průhyby</i>	88
<i>Obr. 52 3D model ocelové výrobní haly s krytým skladištěm, jeřábovou dráhou a přístavbou</i>	89
<i>Obr. 53 Skupiny zatížení od jeřábu</i>	90
<i>Obr. 54 Nejnepríznivější místa umístění jeřábu</i>	90
<i>Obr. 55 Využití průřezu rámové příčle</i>	91
<i>Obr. 56 Využití průřezu sloupů</i>	91
<i>Obr. 57 IPE 330 [19]</i>	93
<i>Obr. 58 Momentový obrazec</i>	97
<i>Obr. 59 Momentový obrazec</i>	101
<i>Obr. 60 Momentový obrazec</i>	101
<i>Obr. 61 Výsledný průhyb příčle</i>	103
<i>Obr. 62 HEA 260 [19]</i>	104
<i>Obr. 63 Momentový obrazec</i>	107
<i>Obr. 64 Výsledný průhyb sloupu</i>	109
<i>Obr. 65 Půdorys patky</i>	111
<i>Obr. 66 UPN 180 [19]</i>	113
<i>Obr. 67 Posuzovaný průřez patky</i>	113
<i>Obr. 68 Určení vzdálenosti z_1</i>	115
<i>Obr. 69 Umístění řezů 1 a 2</i>	116
<i>Obr. 70 Umístění kotevního příčníku</i>	119
<i>Obr. 71 UPN100 [19]</i>	119
<i>Obr. 72 Rámový roh</i>	121
<i>Obr. 73 Přípoj rámového rohu</i>	121
<i>Obr. 74 Maximální ohybový moment – příčel 2 [kNm]</i>	121
<i>Obr. 75 Maximální posouvající síla – příčel 2 [kN]</i>	121
<i>Obr. 76 HEA 260 [19]</i>	122
<i>Obr. 77 IPE 330 [19]</i>	122

Seznam tabulek

Tabulka 1 Součinitele vnějšího tlaku pro úhel $\theta = 0^\circ$	33
Tabulka 2 Výsledné tlaky větru na stěnu pro úhel $\theta = 0^\circ$ [kN/m ²]	33
Tabulka 3 Součinitele vnějšího tlaku pro úhel $\theta = 90^\circ$	34
Tabulka 4 Výsledné tlaky větru na stěnu pro úhel $\theta = 90^\circ$ [kN/m ²]	34
Tabulka 5 Součinitele vnějšího tlaku	35
Tabulka 6 Součinitele vnějšího tlaku	35
Tabulka 7 Výsledné tlaky větru na střešní plášť	35
Tabulka 8 Výsledné tlaky větru na střešní plášť	35
Tabulka 9 Součinitele vnějšího tlaku pro úhel $\theta = 0^\circ$	35
Tabulka 10 Výsledné tlaky větru na střešní plášť pro úhel $\theta = 0^\circ$ [kN/m ²]	36
Tabulka 11 Součinitele vnějšího tlaku pro úhel $\theta = 90^\circ$	36
Tabulka 12 Výsledné tlaky větru na střešní plášť pro úhel $\theta = 90^\circ$ [kN/m ²]	36
Tabulka 13 Součinitele vnějšího tlaku	37
Tabulka 14 Součinitele vnějšího tlaku	37
Tabulka 15 Výsledné tlaky větru na střešní plášť	37
Tabulka 16 Výsledné tlaky větru na střešní plášť	37
Tabulka 17 Součinitele vnějšího tlaku pro úhel $\theta = 0^\circ$	37
Tabulka 18 Výsledné tlaky větru na střešní plášť pro úhel $\theta = 0^\circ$ [kN/m ²]	38
Tabulka 19 Součinitele vnějšího tlaku pro úhel $\theta = 90^\circ$	38
Tabulka 20 Výsledné tlaky větru na střešní plášť pro úhel $\theta = 90^\circ$ [kN/m ²]	38
Tabulka 21 Součinitele vnějšího tlaku pro úhel $\theta = 90^\circ$	42
Tabulka 22 Výsledné tlaky větru na střešní plášť pro úhel $\theta = 90^\circ$ (bez vnitřního tlaku) [kN/m ²]	42
Tabulka 23 Součinitele vnějšího tlaku pro úhel $\theta = 90^\circ$	43
Tabulka 24 Výsledné tlaky větru na stěnu pro úhel $\theta = 90^\circ$ (bez vnitřního tlaku) [kN/m ²]	43
Tabulka 25 Součinitel tření c_{fr} pro stěny, zábradlí a povrchy střech	43
Tabulka 26 Charakteristiky střešního panelu KS1000 RW 40	45
Tabulka 27 Charakteristiky střešního panelu KS1150 NF 40	46
Tabulka 28 Druhy dynamických součinitelů [5]	49
Tabulka 29 Druhy dynamických součinitelů pro svislá zatížení [5]	49
Tabulka 30 Hodnoty β_2 a $\varphi_{2,min}$ [5]	49
Tabulka 31 Součinitelé dynamických účinků	50
Tabulka 32 Úhel přičení [5]	53
Tabulka 33 Vzdálenost h [5]	54
Tabulka 34 Hodnoty λ [5]	55
Tabulka 35 Skupiny zatížení a dynamických součinitelů	57
Tabulka 36 Přehled vnitřních sil od svislého zatížení	60
Tabulka 37 Přehled výsledných vnitřních sil od svislého zatížení	61
Tabulka 38 Výsledné vnitřní síly od svislého zatížení	64
Tabulka 39 Výsledné vnitřní síly od vodorovného zatížení	65

<i>Tabulka 40 Návrhové hodnoty zatížení</i>	<i>66</i>
<i>Tabulka 41 Charakteristické hodnoty oceli S 235.....</i>	<i>66</i>
<i>Tabulka 42 Charakteristické hodnoty oceli S 355.....</i>	<i>66</i>
<i>Tabulka 43 Dílčí součinitele spolehlivosti</i>	<i>66</i>
<i>Tabulka 44 Průřezové charakteristiky HEA 300 [19].....</i>	<i>67</i>
<i>Tabulka 45 Hodnoty součinitelů C_1, C_2 a C_3 [6].....</i>	<i>69</i>
<i>Tabulka 46 Křivky klopení</i>	<i>70</i>
<i>Tabulka 47 Součinitel imperfekce při klopení.....</i>	<i>70</i>
<i>Tabulka 48 Koeficienty α a β pro typ zatížení a okrajové podmínky.....</i>	<i>71</i>
<i>Tabulka 49 Přehled bimomentů od vázaného kroucení</i>	<i>71</i>
<i>Tabulka 50 Charakteristické hodnoty oceli S 235.....</i>	<i>80</i>
<i>Tabulka 51 Dílčí součinitele spolehlivosti</i>	<i>80</i>
<i>Tabulka 52 Průřezové charakteristiky HEB 180 [19].....</i>	<i>80</i>
<i>Tabulka 53 Ekvivalentní vodorovné síly</i>	<i>83</i>
<i>Tabulka 54 Porovnání vnitřních sil 2D a 3D modelu</i>	<i>92</i>
<i>Tabulka 55 Porovnání vnitřních sil 2D a 3D modelu</i>	<i>92</i>
<i>Tabulka 56 Charakteristické hodnoty oceli S235.....</i>	<i>93</i>
<i>Tabulka 57 Dílčí součinitele spolehlivosti</i>	<i>93</i>
<i>Tabulka 58 Průřezové charakteristiky IPE 330 [19]</i>	<i>93</i>
<i>Tabulka 59 Průřezové charakteristiky HEA 260 [19].....</i>	<i>104</i>
<i>Tabulka 60 Charakteristické hodnoty oceli S 235.....</i>	<i>110</i>
<i>Tabulka 61 Dílčí součinitele spolehlivosti</i>	<i>110</i>
<i>Tabulka 62 Síly v patce</i>	<i>110</i>
<i>Tabulka 63 Rekapitulace sil působících na patku</i>	<i>110</i>
<i>Tabulka 64 Vstupní hodnoty.....</i>	<i>111</i>
<i>Tabulka 65 Vstupní hodnoty.....</i>	<i>111</i>
<i>Tabulka 66 Hodnoty pro zatěžovací stavy.....</i>	<i>113</i>
<i>Tabulka 67 Průřezové charakteristiky UPN 180 [19]</i>	<i>113</i>
<i>Tabulka 68 Průřezové charakteristiky patky.....</i>	<i>114</i>
<i>Tabulka 69 Kotevní šrouby M36x3</i>	<i>118</i>
<i>Tabulka 70 Průřezové charakteristiky UPN100 [19]</i>	<i>119</i>
<i>Tabulka 71 Průřezové charakteristiky HEA 260 [19].....</i>	<i>122</i>
<i>Tabulka 72 Průřezové charakteristiky IPE 330 [19]</i>	<i>122</i>
<i>Tabulka 73 Rekapitulace vnitřních sil.....</i>	<i>123</i>

Seznam použitých zdrojů a literatury

- [1] ČSN EN 1990: *Zásady navrhování konstrukcí*. 2004. vyd. Praha: ČNI, 2004.
- [2] ČSN EN 1991-1-1: *Zatížení konstrukcí - Část 1-1: Obecná zatížení - Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb*. 2004. vyd. Praha: ČNI, 2004.
- [3] ČSN EN 1991-1-3: *Zatížení konstrukcí - Část 1-3: Obecná zatížení - Zatížení sněhem*. 2005. vyd. Praha: ČNI, 2005.
- [4] ČSN EN 1991-1-4: *Zatížení konstrukcí - Část 1-4: Obecná zatížení - Zatížení větrem*. 2007. vyd. Praha: ČNI, 2007.
- [5] ČSN EN 1991-3: *Zatížení konstrukcí - Část 3: Zatížení od jeřábů a strojního vybavení*. 2008. vyd. Praha: ČNI, 2008.
- [6] ČSN EN 1993-1-1: *Navrhování ocelových konstrukcí - Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla po pozemní stavby*. 2006. vyd. Praha: ČNI, 2006.
- [7] ČSN EN 1993-6: *Navrhování ocelových konstrukcí - Část 6: Jeřábové dráhy*. 2008. vyd. Praha: ČNI, 2008.
- [8] ČSN EN 1993-1-5: *Navrhování ocelových konstrukcí - Část 1-5: Boulení stěn*. 2008. vyd. Praha: ČNI, 2008.
- [9] ČSN EN 1993-1-8: *Navrhování ocelových konstrukcí - Část 1-8: Navrhování styčníků*. 2006. vyd. Praha: ČNI, 2006.
- [10] HOŘEJŠÍ, Jiří. *Statické tabulky*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1987, 683 s.
- [11] MACHÁČEK, Josef. *Ocelové konstrukce 2*. Vyd. 1. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2005, 152 s. ISBN 80-010-3174-8.
- [12] PILGR, Milan. *Kovové konstrukce: výpočet jeřábové dráhy pro mostové jeřáby podle ČSN EN 1991-3 a ČSN EN 1993-6*. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2012, 200 s. ISBN 978-80-7204-807-6.
- [13] VRANÝ, Tomáš. *Ocelové konstrukce 20: projekt, haly*. Vyd. 1. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2003, 98 s. ISBN 80-010-2806-2.
- [14] VRANÝ, Tomáš. *Ocelové konstrukce 20: pomůcka pro navrhování hal*. 1. vyd. Praha: ČVUT, 2002, 113 s. ISBN 80-010-2066-5.

- [15] VRANÝ, Tomáš. *Ocelové konstrukce 20: průmyslová hala*. 1. vyd. Praha: ČVUT, 1999, 59 s. ISBN 80-010-1538-6.
- [16] VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ. Stavební fakulta. MELCHER, Jindřich., KARMAZÍNOVÁ, Marcela., BAJER, Miroslav., SÝKORA, Karel. *Prvky kovových konstrukcí*. MODUL BO02-M03. Brno. [b.r.]
- [17] <http://panely.kingspan.cz>
- [18] <http://voestalpine.com/profilform-cz>
- [19] <http://www.staticstools.eu/cs>

Použité výpočetní a grafické programy

Microsoft Office 2016

SCIA Engineer 19.1

AutoCAD 2018

Profilform Designer

Seznam příloh

<i>Příloha č. 1 - tabulka únosnosti střešního panelu KS1000RW 40.....</i>	<i>1</i>
<i>Příloha č. 2 - tabulka únosnosti stěnového panelu KS1150 NF 40.....</i>	<i>2</i>
<i>Příloha č. 3 - posouzení vaznic pro hlavní loď a vedlejší loď.....</i>	<i>3</i>
<i>Příloha č. 4 - posouzení vaznic pro kryté skladiště.....</i>	<i>4</i>
<i>Příloha č. 5 - zatěžovací stavy pro stanovení maximálního průhybu v ose z</i>	<i>5</i>
<i>Příloha č. 6 - zatěžovací stavy pro stanovení maximální deformace v ose y.....</i>	<i>6</i>
<i>Příloha č. 7 - výsledné reakce pro určení ekvivalentní vodorovné síly.....</i>	<i>7</i>
<i>Příloha č. 8 - zatěžovací stavy pro 2d příčnou vazbu.....</i>	<i>8</i>
<i>Příloha č. 9 - vnitřní síly krytého skladiště</i>	<i>10</i>
<i>Příloha č. 10 - porovnání vnitřních sil mezi 2D a 3D výpočtním modelem.....</i>	<i>11</i>
<i>Příloha č. 11 - vnitřní síly druhé příče krytého skladiště (Příčel 2).....</i>	<i>13</i>
<i>Příloha č. 12 - vnitřní síly druhého sloupu krytého skladiště (Sloup 2).....</i>	<i>14</i>

Výkresová dokumentace

Výkres č. 1 - Půdorys, půdorys jeřábové dráhy, pohledy os

Výkres č. 2 - Příčný řez A – A, příčný řez B – B

Výkres č. 3 - Výkres detailů

Výkres č. 4 - Výrobní dokumentace: dílec D1 – nosník JD

Příloha č. 1 - tabulka únosnosti střešního panelu KS1000RW 40

Střešní panel KS1000 RW 40

plech vnější/vnitřní 0,5 / 0,4 mm S280GD podle ČSN EN 14509



Systém	Skupina barev	charakteristické proměnné zatížení sněhem [kN/m²]																hodnota zatížení
		0,25	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	2,25	2,50	2,75	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00	
Prostý nosník	I, II, III (f)	40 3,84	40 3,45	40 3,04	40 2,54	40 2,20	40 1,94	40 1,75	40 1,59	40 1,47	40 1,37	40 1,28	40 1,21	40 1,15	40 1,10	40 1,05	40 1,01	40
		40 60	40 60	40 60	40 60	40 60	40 60	40 60	40 60	40 60	40 60	40 60	40 60	40 60	40 60	40 60	40 60	40
Spojitý nosník o 2 polích	I (f)	40 60	40 60	40 60	40 60	40 60	40 60	40 60	40 60	40 60	40 60	40 60	40 60	40 60	40 60	40 60	40 60	40
		4,93	3,55	2,87	2,45	2,17	1,94	1,75	1,59	1,47	1,37	1,28	1,21	1,15	1,10	1,05	1,01	0,88
	II (f)	40 60	40 60	40 60	40 60	40 60	40 60	40 60	40 60	40 60	40 60	40 60	40 60	40 60	40 60	40 60	40 60	40
		4,93	3,55	2,87	2,45	2,17	1,94	1,75	1,59	1,47	1,37	1,28	1,21	1,15	1,10	1,05	1,01	0,88
	III (f)	40 60	40 60	40 60	40 60	40 60	40 60	40 60	40 60	40 60	40 60	40 60	40 60	40 60	40 60	40 60	40 60	40
		4,93	3,55	2,87	2,45	2,17	1,94	1,75	1,59	1,47	1,37	1,28	1,21	1,15	1,10	1,05	1,01	0,88
Spojitý nosník o 3 a více polích	I (f)	40 60	40 60	40 60	40 60	40 60	40 60	40 60	40 60	40 60	40 60	40 60	40 60	40 60	40 60	40 60	40 60	40
		5,30	3,82	3,04	2,54	2,20	1,94	1,75	1,59	1,47	1,37	1,28	1,21	1,15	1,10	1,05	1,01	0,88
	II (f)	40 60	40 60	40 60	40 60	40 60	40 60	40 60	40 60	40 60	40 60	40 60	40 60	40 60	40 60	40 60	40 60	40
		5,30	3,82	3,04	2,54	2,20	1,94	1,75	1,59	1,47	1,37	1,28	1,21	1,15	1,10	1,05	1,01	0,88
	III (f)	40 60	40 60	40 60	40 60	40 60	40 60	40 60	40 60	40 60	40 60	40 60	40 60	40 60	40 60	40 60	40 60	40
		5,30	3,82	3,04	2,54	2,20	1,94	1,75	1,59	1,47	1,37	1,28	1,21	1,15	1,10	1,05	1,01	0,88

barevná skupina (zatřídění dle odstínu v RAL)
(f) – přípustná deformace pro krátkodobé zatížení L/200,
pro dlouhodobé L/100, kde L je rozpětí mezi podporami

AA – min. šířka krajní podpory
X,XX – max. rozpon
BB – min. šířka střední podpory

**Střešní panel KS1000 RW 40**

plech vnější/vnitřní 0,5 / 0,4 mm S280GD podle ČSN EN 14509

Systém	Skupina barev	charakteristické proměnné zatížení, SÁNÍ větru [kN/m²]																hodnota zatížení
		0,25	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	2,25	2,50	2,75	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00	
Prostý nosník	I, II, III (f)	3,25	3,03	2,81	2,65	2,52	2,41	2,23	2,04	1,88	1,74	1,63	1,53	1,44	1,36	1,30	1,24	1,05
		7,50	4,91	3,83	3,17	2,72	2,40	2,17	1,99	1,84	1,72	1,62	1,53	1,44	1,36	1,30	1,24	1,05
Spojitý nosník o 2 polích	II (f)	7,50	4,91	3,71	3,03	2,60	2,30	2,08	1,91	1,77	1,66	1,56	1,48	1,41	1,35	1,30	1,24	1,05
		7,50	4,91	3,71	3,03	2,60	2,30	2,08	1,91	1,77	1,66	1,56	1,48	1,41	1,35	1,30	1,24	1,05
	III (f)	7,50	4,68	3,45	2,81	2,42	2,14	1,94	1,79	1,67	1,56	1,48	1,41	1,34	1,29	1,24	1,20	1,05
Spojitý nosník o 3 a více polích	I (f)	6,42	4,91	3,83	3,20	2,78	2,47	2,23	2,04	1,88	1,74	1,63	1,53	1,44	1,36	1,30	1,24	1,05
		6,42	4,91	3,83	3,20	2,78	2,47	2,23	2,04	1,88	1,74	1,63	1,53	1,44	1,36	1,30	1,24	1,05
	III (f)	6,42	4,91	3,83	3,20	2,78	2,47	2,23	2,04	1,88	1,74	1,63	1,53	1,44	1,36	1,30	1,24	1,05

Minimální šířka krajní podpory je 40 mm, minimální šířka střední podpory je 60 mm, nevyplyvá-li z tabulek pro zatížení v tlaku šířka větší.

barevná skupina (zatřídění dle odstínu v RAL)
(f) – přípustná deformace pro krátkodobé zatížení L/200,
pro dlouhodobé L/100, kde L je rozpětí mezi podporami

max. rozpon

Příloha č. 2 - tabulka únosnosti stěnového panelu KS1150 NF 40

Stěnový panel KS1150 NF 40

plech vnější/vnitřní 0,6/0,4 mm, profilace M/Q, S280GD
podle ČSN EN 14509




TLAK									
systém	barevná skupina	charakteristické proměnné zatížení							
		0,25	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00 [kN/m²]
prostý nosník ▲	I., II., III.	40	40	40	40	40	46	51	55
		4,68	4,04	3,55	3,21	2,97	2,77	2,58	2,41
spojitý nosník o 2 polích ▲ ▲	I.	40	40	40	40	40	40	44	49
		4,62	3,53	3,05	2,76	2,56	2,41	2,29	2,20
	II.	60	60	60	60	67	78	89	98
		4,62	3,53	3,05	2,76	2,56	2,41	2,29	2,20
	III.	60	60	60	60	67	78	89	98
		4,62	3,53	3,05	2,76	2,56	2,41	2,29	2,20
spojitý nosník o 3 polích ▲ ▲ ▲	I.	40	40	40	40	40	44	49	53
		6,16	4,42	3,65	3,19	2,88	2,65	2,47	2,33
	II.	60	60	60	66	77	87	97	106
		6,16	4,42	3,65	3,19	2,88	2,65	2,47	2,33
	III.	60	60	60	66	77	87	97	106
		6,16	4,42	3,65	3,19	2,88	2,65	2,47	2,33

SÁNÍ									
systém	barevná skupina	charakteristické proměnné zatížení							
		0,25	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00 [kN/m²]
prostý nosník ▲	I.	5,27	4,20	3,43	2,97	2,66	2,43	2,25	2,10
	II.	4,68	4,04	3,43	2,97	2,66	2,43	2,25	2,10
	III.	3,89	3,49	3,21	2,97	2,66	2,43	2,25	2,10
spojitý nosník o 2 polích ▲ ▲	I.	5,94	4,20	3,43	2,97	2,66	2,43	2,25	2,10
	II.	5,94	4,20	3,43	2,97	2,66	2,43	2,25	2,10
	III.	4,77	3,67	3,18	2,89	2,66	2,43	2,25	2,10
spojitý nosník o 3 polích ▲ ▲ ▲	I.	5,94	4,20	3,43	2,97	2,66	2,43	2,25	2,10
	II.	5,94	4,20	3,43	2,97	2,66	2,43	2,25	2,10
	III.	5,94	4,20	3,43	2,97	2,66	2,43	2,25	2,10

Minimální šířka krajní podpory je 40 mm, minimální šířka střední podpory je 60 mm, nevyplyvá-li z tabulek pro zatížení v tlaku šířka větší.

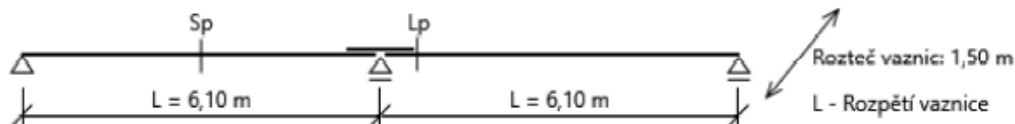
Příloha č. 3 - posouzení vaznic pro hlavní loď a vedlejší loď

	PROFILFORM DESIGNER		
	Projektant:		Název akce:
	Společnost:		Místo stavby:
	Adresa:		Číslo projektu:
	Telefon:		Název souboru:
	E-mail:		Datum:
			13.09.2019

POSOUZENÍ VAZNICOVÉ LINIE V SYSTÉMU SLEEVED - stejná rozpětí

Použité EC normy: Česká republika

Navržený profil: 172Z14



ZADÁNÍ VAZNICOVÉ LINIE

Geometrie vaznicové linie		Charakteristická zatížení			
Rozpětí vaznice	6,100 m	Stálé	0,10 kN/m ²	Normálová síla	0,00 kN
Rozteče	1,500 m	Dodatečné	0,15 kN/m ²	Vzpěry	0
Počet polí	6	Servisní	0,00 kN/m ²		
Sklon střechy	7,0 °	Sníh	0,56 kN/m ²		
Horní pásnice	Stabilizována	Větr - sání (VS)	0,55 kN/m ²		
Průhybový limit	L/200	Větr - přítlak	0,22 kN/m ²		

Mapa posouzení profilů Metsec

Systém	Kritérium/Pozice									
	C1	Pozice	C2	Pozice	C3	Pozice	C4	Pozice	C5	Pozice
SLEEVED	●	Sp	●		●		●	Sp ²⁾		

Využití profilů v MSÚ a MSP

Profil	Využití		Průhyb	Status
	MSÚ	MSP		
172Z14	78,4 %	95,9 % \bar{a}	29,2 mm	Vyhovuje

NÁVRHOVÁ KRITÉRIA

Kritérium	Vztah	Komentář
C1	$M_{Ed} / M_{CAP} \leq 1$	Ohyb
C2	$V_{Ed} / V_{CAP} \leq 1$	Smyk
C3	$(C1^2 + 3 C2^2)^{0,5} \leq 1,1$	Interakce smyku a ohybu
C4	$\frac{1}{X_{LT}} \cdot \frac{M_{Ed}}{M_{CAP}} + \frac{M_{Ed}}{M_{CAP,lt}} \leq 1$	Ohyb s vlivem klopení při sání větru
C5	$1,2 \frac{F_{Ed}}{R_{CAP}} + \frac{M_{Ed}}{M_{CAP}} \leq 1,5$	Interakce ohybu a příčné síly v přesahu

Kombinace zatížení

Národní normy	kombinace zatěžovacích účinků pro MSÚ dle EC1990:	typ zatížení	součinitel zatížení	kombinační součinitel ψ_0
Česká republika	rovnice 6.10a + 6.10b pro gravitační, vztahovou (vše)	Stálé	1,35	-
		Dodatečné	1,35	-
		Servisní (kateg. H)	1,50	1,00
		Sníh	1,50	0,50 (0,70)
		Větr - sání (VS)	1,50	0,60
		Větr - přítlak	1,50	0,60
		N_{Ed}	1,00	1,00

Poznámky a vysvětlivky

¹⁾ Pro gravitační zatěžovou situaci se zohledňuje pozice Sp + Lp, pro zatěžovou situaci sání větrem se zohledňuje pouze pozice Lp.


²⁾ Posuzovací kritérium je pouze pro zatěžovou situaci sání větrem.

Posouzení prvků vaznicové linie v MSÚ vychází z logiky $E_{Ed} / R_{CAP} \leq 1$. Hodnoty vnitřních sil na profilech a hodnoty kapacit únosnosti profilů jsou odvozeny z normových předpisů EC 0, EC 1, EC 3, BS 5950 a výsledků testů vaznicových linií provedených na katedře mechaniky Technické university ve Strathclyde ve Velké Británii. Jejich seznam a další podrobnosti k vaznicovým systémům jsou uvedeny v technickém manuálu Konstrukční systémy METSEC.

Návrh vychází z předpokladu plné stabilizace horní pásnice profilu vaznice opláštěním. Použité opláštění musí být připevněno k vaznici připojovacími prvky s maximální roztečí 600 mm.

Při návrhu a tvorbě výrobní dokumentace musí být dodrženy konstrukční zásady uvedené v aktuálním technickém manuálu Konstrukční systémy METSEC.

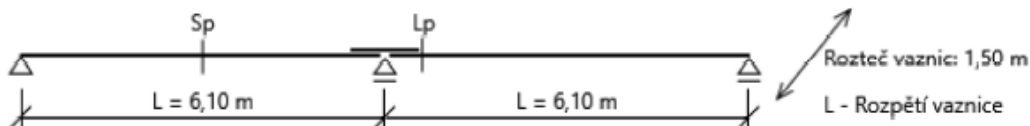
Příloha č. 4 - posouzení vaznic pro kryté skladiště

	PROFILFORM DESIGNER			
	Projektant:		Název akce:	-
	Společnost:		Místo stavby:	-
	Adresa:		Číslo projektu:	-
	Telefon:		Název souboru:	-
	E-mail:		Datum:	13.09.2019

POSOUZENÍ VAZNICOVÉ LINIE V SYSTÉMU SLEEVED - stejná rozpětí

Použité EC normy: Česká republika

Navržený profil: 172Z20



ZADÁNÍ VAZNICOVÉ LINIE

Geometrie vaznicové linie		Charakteristická zatížení			
Rozpětí vaznice	6,100 m	Stálé	0,10 kN/m ²	Normálová síla	0,00 kN
Rozteče	1,500 m	Dodatečné	0,15 kN/m ²	Vzpěry	0
Počet polí	2	Servisní	0,00 kN/m ²		
Sklon střechy	7,0 °	Sníh	0,56 kN/m ²		
Horní pásnice	Stabilizována	Vítr - sání (VS)	1,00 kN/m ²		
Průhybový limit	L/200	Vítr - přítlak	0,57 kN/m ²		

Mapa posouzení profilů Metsec

Systém	Kritérium/Pozice									
	C1	Pozice	C2	Pozice	C3	Pozice	C4	Pozice	C5	Pozice
SLEEVED	●	Sp	●		●		●	Sp ²⁾		

Využití profilů v MSÚ a MSP

Profil	Využití		Průhyb	Status
	MSÚ	MSP		
172Z20	88,9 %	83,7 % $\bar{\alpha}$	25,5 mm	Vyhovuje

NÁVRHOVÁ KRITÉRIA

Kritérium	Vztah	Komentář
C1	$M_{Ed} / M_{CAP} \leq 1$	Ohyb
C2	$V_{Ed} / V_{CAP} \leq 1$	Smyk
C3	$(C1^2 + 3 C2^2)^{0,5} \leq 1,1$	Interakce smyku a ohybu
C4	$\frac{1}{\chi_{LT}} \cdot \frac{M_{Ed}}{M_{CAP}} + \frac{M_{Ed}}{M_{CAP, R}} \leq 1$	Ohyb s vlivem klopení při sání větru
C5	$1,2 \frac{F_{Ed}}{R_{CAP}} + \frac{M_{Ed}}{M_{CAP}} \leq 1,5$	Interakce ohybu a příčné síly v přesahu

Kombinace zatížení

Národní normy	kombinace zatěžovacích účinků pro MSÚ dle EC1990:	typ zatížení	součinitel zatížení	kombinační součinitel ψ_0
Česká republika	rovnice 6.10a + 6.10b pro gravitační, vztakovou (vše)	Stálé	1,35	-
		Dodatečné	1,35	-
		Servisní (kateg. H)	1,50	1,00
		Sníh	1,50	0,50 (0,70)
		Vítr - sání (VS)	1,50	0,60
		Vítr - přítlak	1,50	0,60
		N_{Ed}	1,00	1,00

Poznámky a vysvětlivky

¹⁾ Pro gravitační zátěžovou situaci se zohledňuje pozice Sp + Lp, pro zátěžovou situaci sání větrem se zohledňuje pouze pozice Lp.

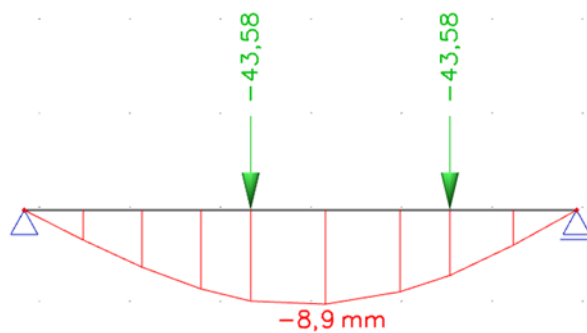
²⁾ Posuzovací kritérium je pouze pro zátěžovou situaci sání větrem.

Posouzení prvků vaznicové linie v MSÚ vychází z logiky $E_{Ed} / R_{CAP} \leq 1$. Hodnoty vnitřních sil na profilech a hodnoty kapacity únosnosti profilů jsou odvozeny z normových předpisů EC 0, EC 1, EC 3, BS 5950 a výsledků testů vaznicových linií provedených na katedře mechaniky Technické university ve Strathclyde ve Velké Británii. Jejich seznam a další podrobnosti k vaznicovým systémům jsou uvedeny v technickém manuálu Konstrukční systémy METSEC.

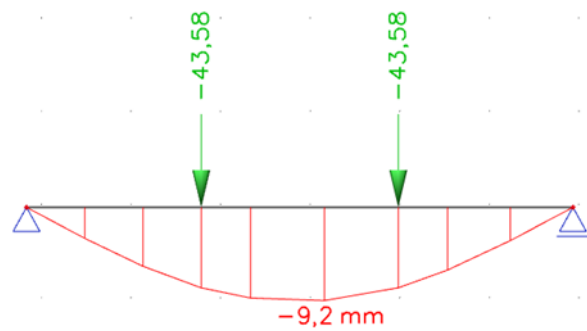
Návrh vychází z předpokladu plné stabilizace horní pásnice profilu vaznice opláštěním. Použité opláštění musí být připevněno k vaznici připojovacími prvky s maximální roztečí 800 mm.

Při návrhu a tvorbě výrobní dokumentace musí být dodrženy konstrukční zásady uvedené v aktuálním technickém manuálu Konstrukční systémy METSEC.

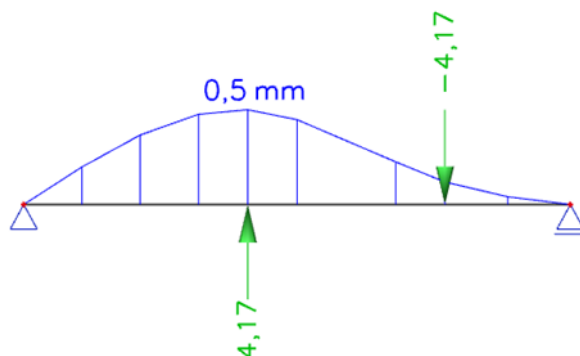
Příloha č. 5 - zatěžovací stavy pro stanovení maximálního průhybu v ose z

a) rozmístění sil stejné jako pro M_{max} 

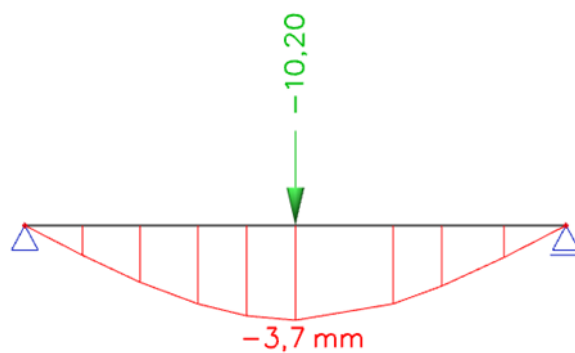
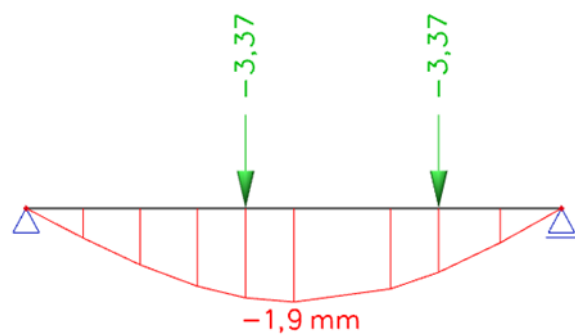
b) síly umístěny symetricky



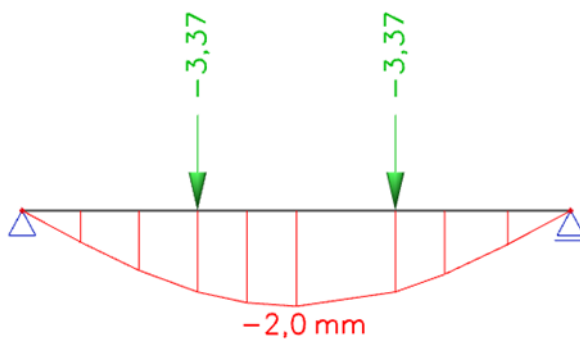
Příloha č. 6 - zatěžovací stavy pro stanovení maximální deformace v ose y

a) zrychlení mostu jeřábu (stejný jako pro M_{max})

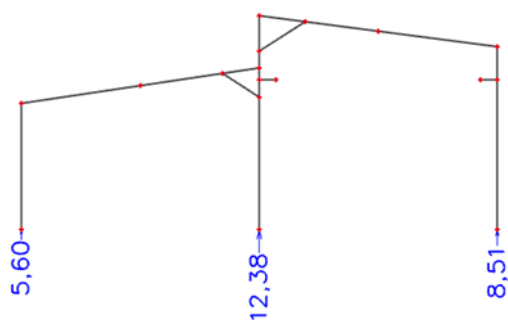
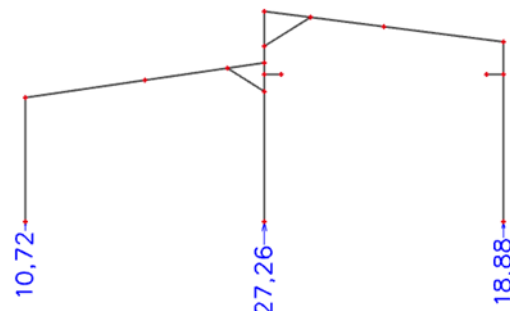
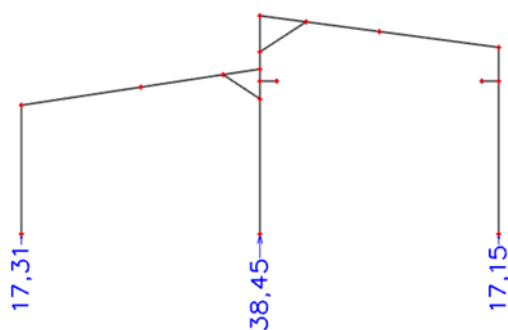
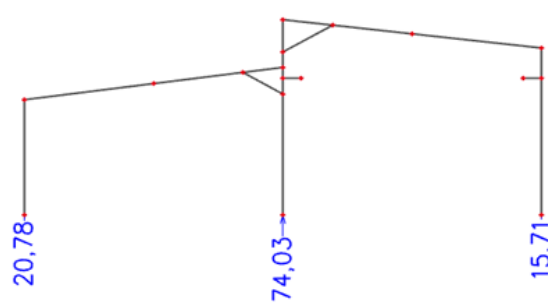
b) přičení mostu jeřábu

c) zrychlení kočky (stejný jako pro M_{max})

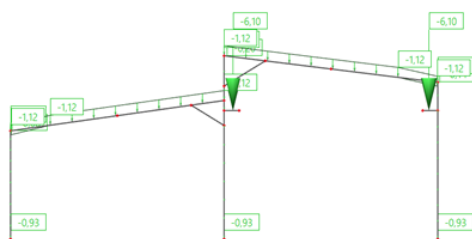
d) zrychlení kočky (síly umístěné symetricky)



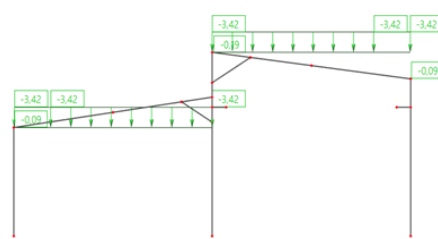
Příloha č. 7 - výsledné reakce pro určení ekvivalentní vodorovné síly

*Výsledné reakce – vlastní tíha**Výsledné reakce – stálé zatížení**Výsledné reakce – sníh nenavátý**Výsledné reakce – sníh navátý*

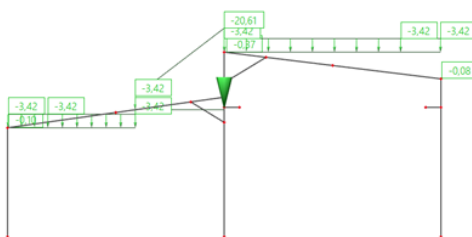
Příloha č. 8 - zatěžovací stavy pro 2d příčnou vazbu



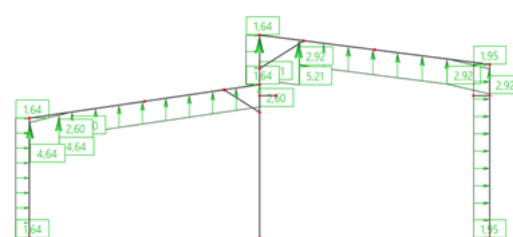
ZS2 – Stálé zatížení



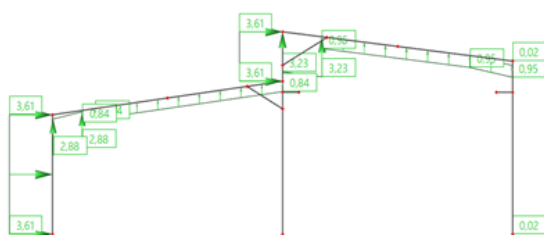
ZS3 – Sníh nenavátý



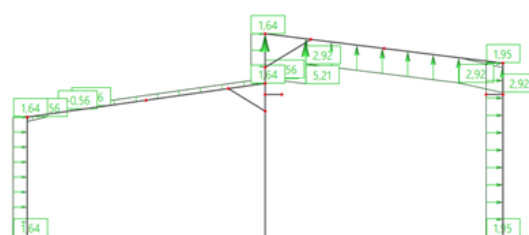
ZS4 – Sníh navátý



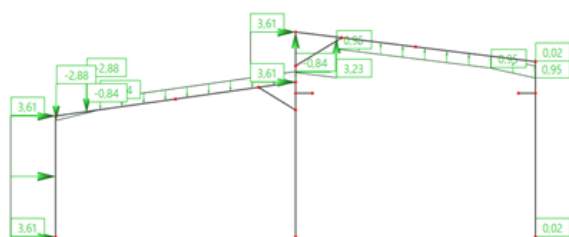
ZS5 – Příčný vítr zleva (-) – 0,2



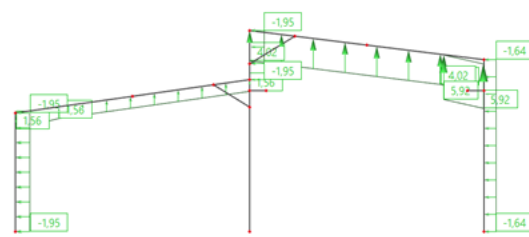
ZS6 – Příčný vítr zleva (-) - 0,3



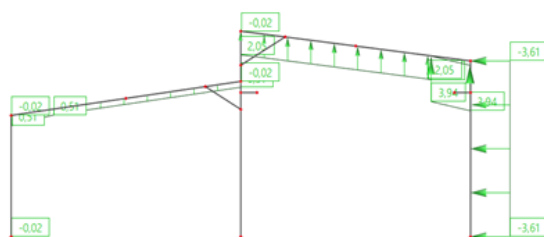
ZS7 – Příčný vítr zleva (+) – 0,2



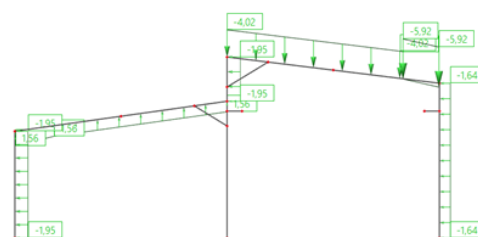
ZS8 – Příčný vítr zleva (+) – 0,3



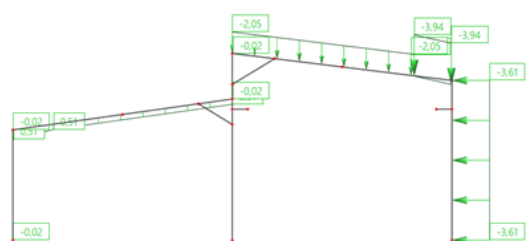
ZS9 – Příčný vítr zprava (-) – 0,2



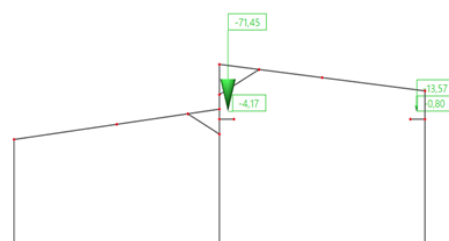
ZS10 – Příčný vítr zprava (-) – 0,3



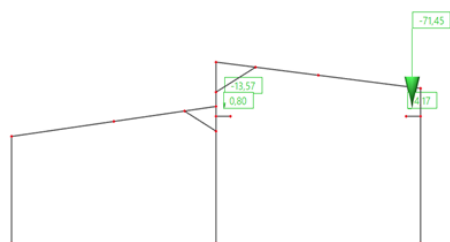
ZS11 – Příčný vítr zprava (+) – 0,2



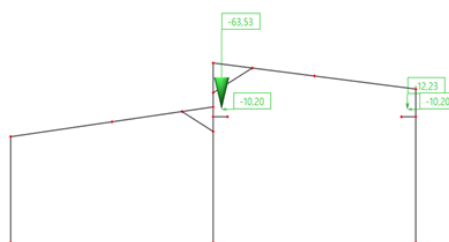
ZS12 – Příčný vítr zprava (-+) - 0,3



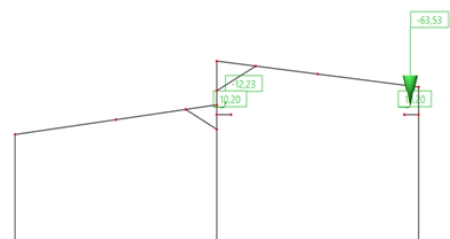
ZS13 – Jeřáb vlevo (SKUPINA 1)



ZS14 – Jeřáb vpravo (SKUPINA 1)

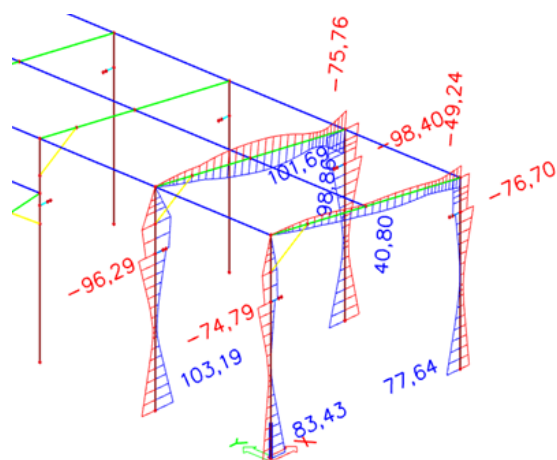


ZS15 – Jeřáb vlevo (SKUPINA 5)

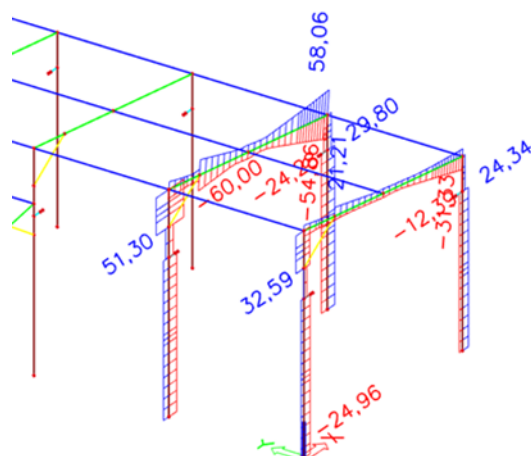


ZS16 – Jeřáb vpravo (SKUPINA 5)

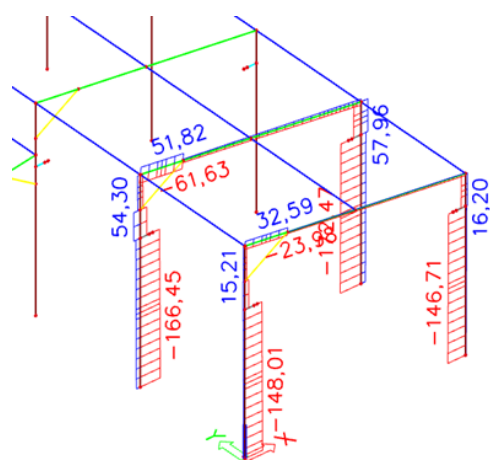
Příloha č. 9 - vnitřní síly krytého skladiště



Ohybové momenty - obálka [kNm]



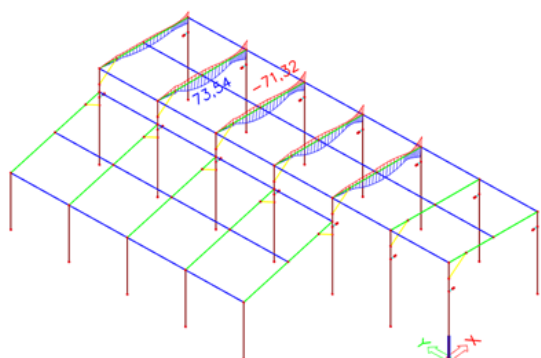
Posouvající síly – obálka [kN]



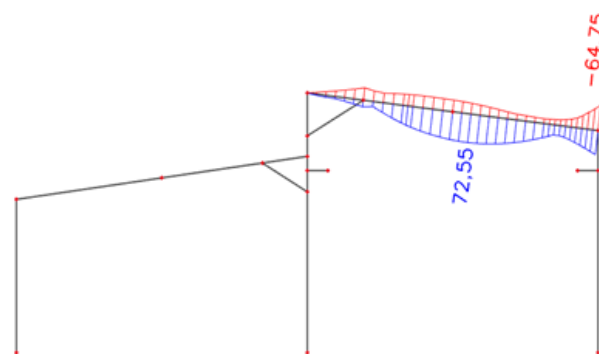
Normálové síly – obálka [kN]

Příloha č. 10 - porovnání vnitřních sil mezi 2D a 3D výpočtním modelem

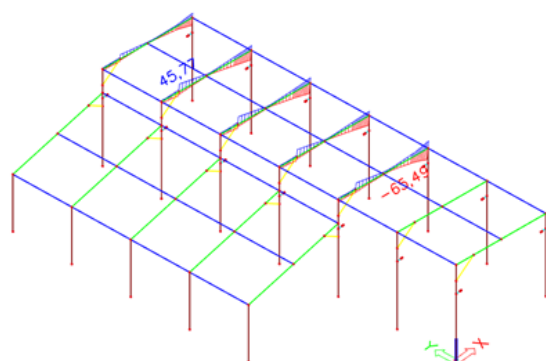
a) vnitřní síly - Příčel 2



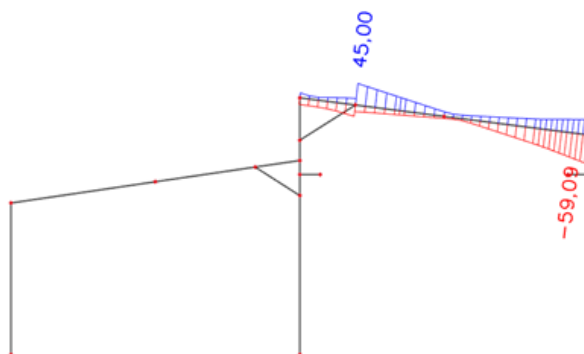
Maximální momenty - 3D model [kNm]



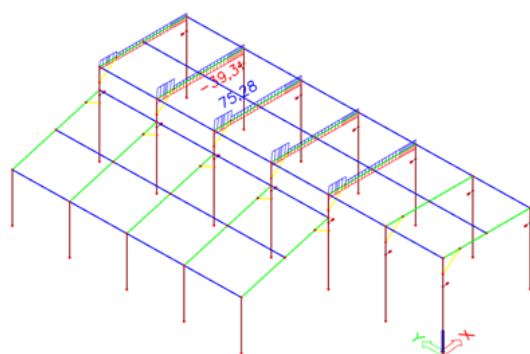
Maximální momenty - 2D model [kNm]



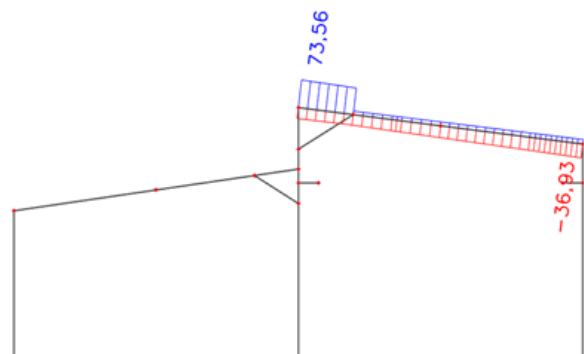
Maximální posouvající síly - 3D model [kN]



Maximální posouvající síly - 2D model [kN]

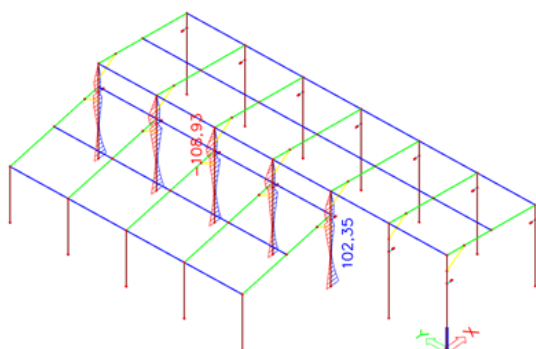


Maximální normálové síly - 3D model [kN]

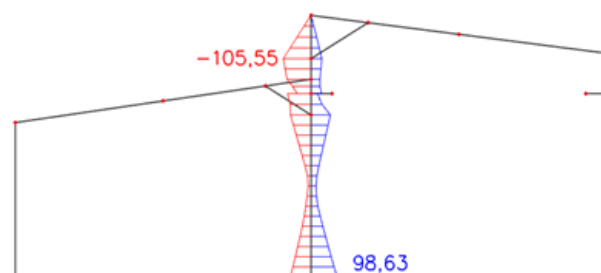


Maximální normálové síly - 2D model [kN]

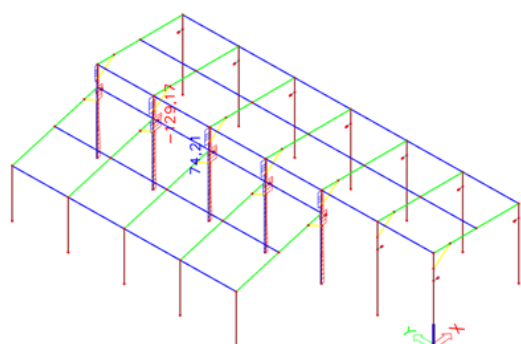
b) vnitřní síly - Sloup 2



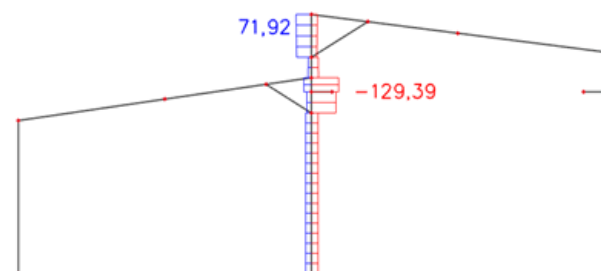
Maximální momenty - 3D model [kNm]



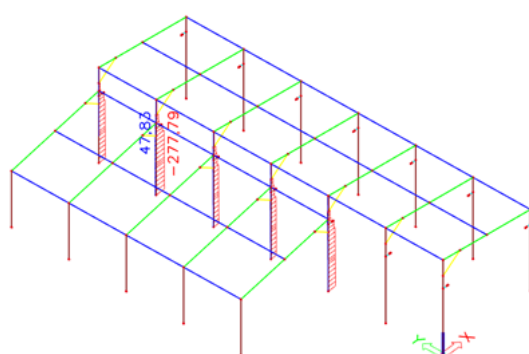
Maximální momenty - 2D model [kNm]



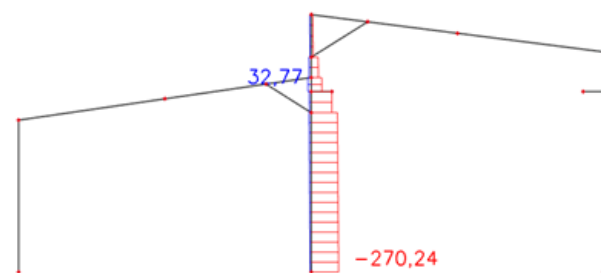
Maximální posouvající síly - 3D model [kN]



Maximální posouvající síly - 2D model [kN]

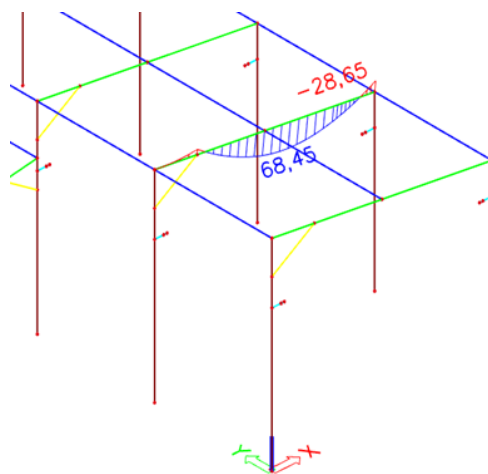


Maximální normálové síly - 3D model [kN]

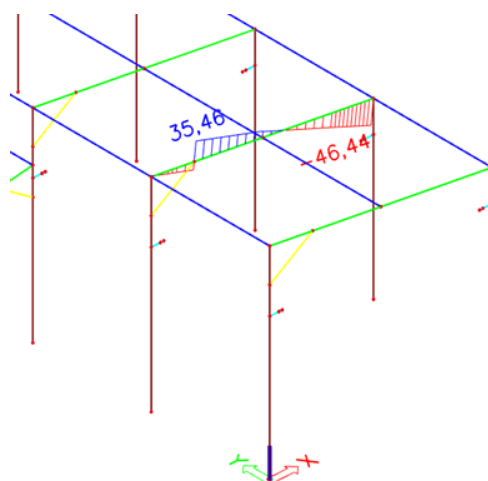


Maximální normálové síly - 2D model [kN]

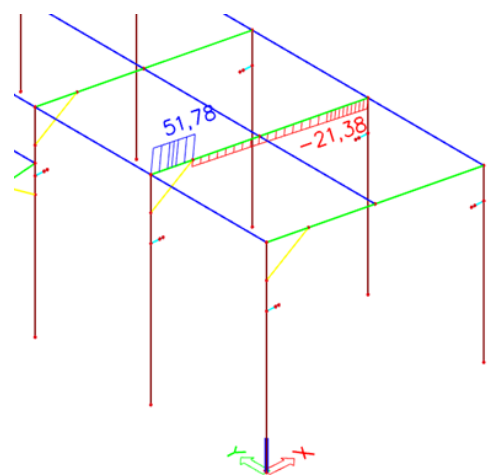
Příloha č. 11 - vnitřní síly druhé příčle krytého skladiště (Příčel 2)



Ohybový moment [kNm]

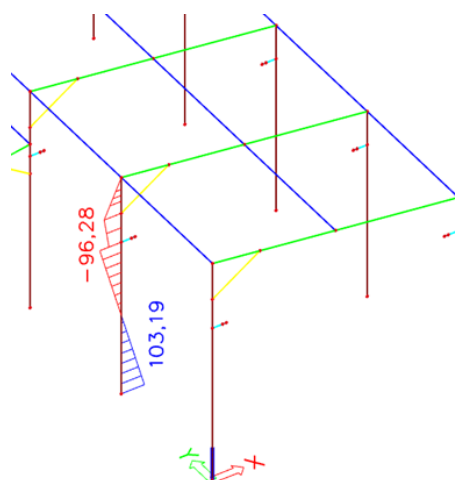
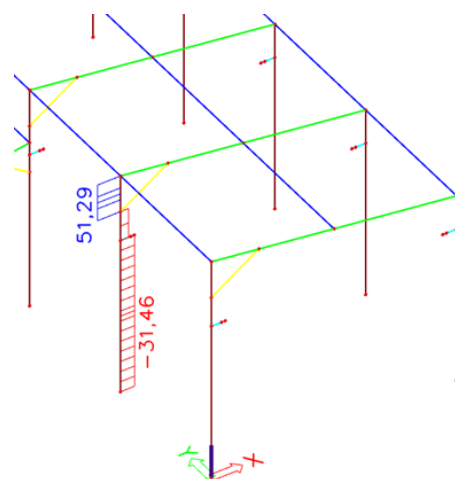
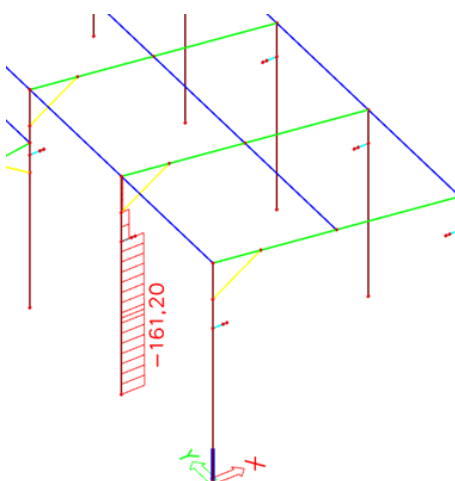


Posouvající síla [kN]



Normálová síla [kN]

Příloha č. 12 - vnitřní síly druhého sloupu krytého skladiště (Sloup 2)

*Ohybový moment [kNm]**Posouvající síla [kN]**Normálová síla [kN]*